

ВЫЯВЛЕНИЕ АНОМАЛИИ КИММЕРЛЕ ЛУЧЕВЫМИ МЕТОДАМИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Янова Э.У., Мардиева Г.М.

Самаркандский государственный медицинский институт. г. Самарканд, Республика Узбекистан.

В работе представлена информация об аномалии Киммерле, является ли она аномалией или это своеобразный механизм защиты? Костные, а также артериальные аномалии или комбинации обоих могут снизить мозговой кровоток, что приводит к ранней инвалидизации.

Цель. Выявить аномалию Киммерле лучевыми методами исследования и оценить её влияние на кровоток.

Материалы и методы. Проведено КТ-обследование верхне-шейного отдела 230 пациентов в возрасте от 21 до 85 лет, среди которых выявлен 41 пациент с аномалией Киммерле. Средний возраст мужчин составлял 46,9 лет, женщин – 52,8 года. Данным пациентам проведено УЗ-дуплексное сканирование V3 отдела, УЗ-транскраниальная доплерография и магнитно-резонансная ангиография сосудов краниовертебральной зоны.

Результаты. Частота встречаемости аномалии составила 17,8%. У пациентов с диагностированной аномалией Киммерле на КТ головного мозга в большинстве наблюдений в различных вариациях выявлены признаки сосудистой энцефалопатии, атрофии мозжечка и единичные кисты, а в шейном отделе – дегенеративно-дистрофические изменения. В основном проценте случаев диагностирована двусторонняя аномалия Киммерле. При одностороннем расположении костная перемычка атланта чаще встречалась слева. Ponticulus posticus, располагавшийся справа в четверти случаев, был незамкнутый. Кальцифицированная атлантотатылочная мембрана над левой дужкой в преобладающем большинстве была замкнутая. У пациентов молодого возраста с односторонней незамкнутой аномалией Киммерле гемодинамически значимых изменений скорости кровотока не отмечали, в остальных группах – снижение кровотока в позвоночной артерии в пределах нижней границы нормы. У всех пациентов с замкнутой формой аномалии Киммерле отмечалось снижение кровотока на данной стороне. Замкнутое костное кольцо C1 с двух сторон приводило к замедлению кровотока по базилярной артерии. По результатам исследования в более половине случаев были отмечены изменения строения артериального круга большого мозга, представленные аплазией одной или обеих задних соединительных артерий. Гипоплазированная позвоночная артерия, по данным МР-ангиографии на уровне V3-V4, чаще отмечалась на стороне, где была выявлена замкнутая форма аномалии Киммерле.

Заключение. Спондилогенный фактор в виде сводчатого отверстия может являться причиной развития нарушений краниовертебрального кровообращения.

Ключевые слова: компьютерная томография (КТ), вертебрально-базилярная система, аномалия Киммерле, ponticulus posticus, атлант, транскраниальная доплерография.

Контактный автор: Янова Э.У., e-mail: e.yanova89@bk.ru

Для цитирования: Янова Э.У., Мардиева Г.М. Выявление аномалии киммерле лучевыми методами исследования. REJR 2021; 11(4):44-52. DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-4-44-52.

Статья получена: 26.10.21

Статья принята: 02.12.21

DETECTION OF THE KIMMERLE ANOMALY BY RADIOLOGICAL METHODS

Yanova E.U., Mardieva G.M.

Samarkand State Medical Institute. Samarkand, Republic of Uzbekistan.

The article represents information about the Kimmerle anomaly, is it an anomaly or is it a kind of defense mechanism? Bone as well as arterial abnormalities or a combination of both can reduce cerebral blood flow leading to early disability.

Purpose. To assess the frequency of occurrence and type of Kimmerle's anomaly by radiological research methods.

Materials and methods. A CT scan of the upper segment of vertebra column was performed in 230 patients aged from 21 to 85 years. Kimmerle's anomaly was identified in 41 patients. The average age in the male section was 46.9 years, in the female section – 52.8 years. These patients underwent ultrasound duplex scanning of the V3 section and ultrasound transcranial Doppler ultrasound and magnetic resonance angiography of the vessels of the craniovertebral zone.

Results. The frequency of the anomaly was 17.8%. In patients with confirmed Kimmerle's anomaly CT of the brain in most cases revealed signs of vascular encephalopathy, cerebellar atrophy and single cysts in various variations as well as degenerative-dystrophic changes in the cervical spine. In most cases Kimmerle anomaly was bilateral. With a one-sided arrangement the atlas bone jumper was more often found on the left. Ponticulus posticus located on the right in a quarter of cases was open. The calcification of the posterior atlanto-occipital membrane of the atlas above the left arch was overwhelmingly closed. In young patients with unilateral open Kimmerle's anomaly hemodynamically significant changes in blood flow velocity were not observed, in the remaining groups, there was a decrease in blood flow in the vertebral artery within the lower limit of normal. All patients with a closed form of Kimmerle's anomaly showed a decrease in blood flow on this side. Closed bone ring C1 on both sides led to a slowdown in blood flow through the basilar artery. According to the results of the study in more than half of the cases changes in the structure of the cerebral arterial circle represented by aplasia of one or both of the posterior communicating arteries were noted. A hypoplastic vertebral artery, according to magnetic resonance angiography at the V3-V4 level, was more often noted on the side where a closed form of Kimmerle's anomaly was detected.

Conclusion. A spondylogenic factor in the form of a vaulted opening can be the cause of the development of disorders of the craniovertebral circulation.

Keywords: computed tomography, vertebrobasilar system, Kimmerle's anomaly, ponticulus posticus, atlas, transcranial Doppler sonography.

Corresponding author: Yanova E.U., e-mail: e.yanova89@bk.ru

For citation: Yanova E.U., Mardieva G.M. Detection of the kimmerle anomaly by radiological methods. REJR 2021; 11(4):44-52. DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-4-44-52.

Received: 26.10.21

Accepted: 02.12.21

С ростом сосудистых поражений центральной нервной системы в общей структуре заболеваемости и смертности населения в мире проблема нарушений мозгового и спинального кровообращения становится одной из самых актуальных в современной неврологии [5, 8]. Значимой причиной нарушения мозгового и спинального кровообращения является изменение тока крови в вертебробазиллярной системе. Расстройства кровообращения

в сосудах вертебрально-базиллярного бассейна составляют более 30% всех сосудистых патологий головного мозга. Около 70% временных нарушений мозгового кровообращения приходится на циркуляторные расстройства в вертебробазиллярной системе [2, 3, 8, 10, 15].

К осложнениям нарушений кровообращения в вертебробазиллярном бассейне относятся инфаркты головного и спинного мозга, при этом на долю мозгового ишемического

инсульта приходится 7-11% от их общего числа. Инфаркт спинного мозга составляет всего 1-2% от всех инсультов [5, 11, 12].

По наблюдениям исследователей, костные аномалии, а также артериальные аномалии или комбинация обеих могут вызвать снижение мозгового кровотока [17, 26].

Сопоставительный анализ исследований ведущих ученых показывает, что немалую долю последствий нарушения кровообращения влечёт за собой изменение гемодинамики в вертебробазиллярной зоне и в позвоночных артериях, в частности. Хорошо известно, что позвоночная артерия, снабжающая неврологические структуры задней черепной ямки и задние отделы полушарий головного мозга, проходит в череп в поперечных отростках от шестого до первого шейных позвонков. Поэтому различные дегенеративно-дистрофические поражения шейного отдела довольно часто являются патогенетическим фактором в нарушениях кровообращения в вертебрально-базиллярном бассейне в различные возрастные периоды – от новорожденности до пожилого и старческого возраста [2, 10].

Есть данные, что одним из ведущих факторов, приводящим к структурным изменениям церебральных артерий, является изменение хода позвоночных артерий в канале поперечных отростков шейных позвонков атланта [8]. В отдельном обсуждении нуждаются аномалии Киммерле (аномальные костные кольца атланта). Этот анатомический вариант известен также как сагиттальное отверстие, отверстие задней части атланта, верхнее ретроартикулярное отверстие, *canalis vertebralis*, дугообразное отверстие, ретроартикулярный канал, ретроартикулярное кольцо вертебральной артерии и ретроартикулярное кольцо позвоночной артерии [16, 21, 22].

Данное изменение атласа могут ограничивать подвижность петли позвоночной артерии в месте формирования аномального кольца на задней дуге атланта и быть причиной возникновения вертебробазиллярной недостаточности [4, 7, 19]. Растягивание во время движения, вращения и изгиба шейного отдела может вызвать чрезмерное внешнее давление на сегмент V3 позвоночной артерии в сводчатом отверстии, с динамическим стенозом и изменениями в нормальном кровотоке. Это наблюдение было связано с инсультом в области заднемозгового бассейна у пациентов с аномалией Киммерле [5, 23]. Присутствие данной патологии также может играть причинную роль в генезисе расслоения позвоночной артерии (диссекции)

[16] и это было описано как предрасполагающий фактор синдрома внезапной детской смерти [5, 24, 26]. В литературе последних лет уделяется клиническая значимость аномалии Киммерле, как структуре, влияющей на кровообращение в позвоночной артерии [10].

Проведение клинических наблюдений с ангиографией и интраоперационной верификацией показало, что аномалия Киммерле сопровождается вертебробазиллярной недостаточностью редко (в 5,5%), только при присоединении рубцовой удавки в области костного кольца вокруг позвоночной артерии [6], в связи с чем, термин «вариант» может быть ограниченной формой нормальной анатомии, не вызывающей неблагоприятных влияний на физиологические функции [26]. В большинстве случаев аномалия Киммерле не приводит к вертебробазиллярной ишемической недостаточности и может протекать бессимптомно [6]. Основными факторами развития клинических симптомов у пациентов с аномалией Киммерле являются: экстравазальное сдавление позвоночной артерии, долговременная травма адвентиции сосуда, а также раздражение паравазальных симпатических нервов и ветвей затылочного нерва [17, 22, 26].

Сводчатое отверстие является важным анатомическим вариантом атласа, которое окружает позвоночную артерию и периапериартериальные структуры, и его можно считать еще одним примером того, как незначительные аномалии атлантозатылочной области могут привести к клинически значимому патофизиологическому состоянию [18, 25].

Цель исследования.

Выявить аномалию Киммерле лучевыми методами исследования и оценить её влияние на кровоток.

Материалы и методы.

Были проанализированы данные компьютерно-томографического (КТ) исследования пациентов, обратившихся по поводу головных болей и неприятных ощущений в шейной области. У 41 из 230 обследованных была выявлена аномалия Киммерле, из которых у 21 пациента проведена компьютерная томография головного мозга с захватом верхне-шейного отдела, а также у 20 пациентов – только шейного отдела. Обследование проводили на аппарате GE Optima 520 с 16 рядами срезов (производство США). Параметры КТ-сканирования: сила тока на трубке – 249 мА для КТ головы и 119 мА для КТ шеи, напряжение – 120 кВ, скорость ротации трубки – 1.0 с, питч – 0.85, толщина среза – 1.25 мм. Лучевая нагрузка при КТ составляла

2 мЗв для головы и 5 мЗв для шейного отдела позвоночника. Ультразвуковую (УЗ) дуплексную сонографию V3 позвоночной артерии проводили на аппарате ESoate Mylab class C с линейным датчиком частотой 5-7,5 МГц и конвексным датчиком – 2-5 МГц. Транскраниальную доплерографию проводили с помощью системы EDAN instruments версии 1.2 с использованием фазированного датчика частотного диапазона 3-7 МГц. МРТ-исследование произведено на 1.5 T аппарате SIEMENS MAGNETOM ESSENZA Tim+DOT.

Результаты исследования.

Были изучены данные КТ-исследования пациентов, проведённые на головном мозге с захватом краниоцервикального отдела и исследования шейного отдела, среди которых у 41 пациента диагностирована костная перемычка первого шейного позвонка.

щин, с частотой встречаемости 17,8%.

При оценке компьютерных томограмм головного мозга пациентов с диагностированной аномалией Киммерле в 13 случаях из 21 наблюдались признаки сосудистой энцефалопатии, в 6 случаях – признаки атрофии мозжечка и в 3 случаях – единичные кисты. У основного числа пациентов (85%), целенаправленно прошедших компьютерную томографию шейного отдела, отмечался разной степени выраженности остеохондроз, в 75% случаев сочетавшийся с наличием протрузии или грыжи межпозвонкового диска, и в 20% наблюдений отмечалась картина спондилёза.

В преобладающем проценте у обследованных нами пациентов с аномалией Киммерле на компьютерной томограмме задняя дуга атланта на экране визуализировалась как полоса высокой плотности, над которой

Таблица №1. Распределение обследованных пациентов с аномалией Киммерле по возрасту и по полу.

Группа	Возраст	Пол	
		мужчины	женщины
молодой возраст	18-44 года	10	10
средний возраст	45-59 лет	5	7
пожилой возраст	60-74 года	3	3
старческий возраст	75-89 лет	2	1
Всего:		20	21

Клинические симптомы у обследованных пациентов были различными: головная боль, головокружение, шум в ушах, переходящие нарушения слуха и зрения, усталость, нарушения сна, неустойчивая походка, приступы падения, панические атаки, беспокойство или астма, онемение рук и судороги. После диагностирования костной перемычки C1 оказалось, что наиболее выраженные симптомы встречались именно у данных пациентов и усиливались при поворотах головы.

Возраст обследованных пациентов составлял от 21 до 85 лет. Средний возраст мужчин составлял 46,9 лет, женщин – 52,8 года. В соответствии с возрастной классификацией ВОЗ, всех пациентов с выявленной аномалией Киммерле, разделили на следующие группы, что приведено в таблице №1.

Как видим из представленной таблицы, аномалия Киммерле практически равноценно отмечалась как у мужчин, так и у жен-

определялась кольцевидная гиподенсная зона, окаймлённая частично или полностью замкнутым гиперденсным кольцом – костный «мостик» (ponticulus posticus) (рис. 1).

Результаты наших исследований показали, что у 32 пациентов (78%) с диагностированной аномалией Киммерле наблюдалось двустороннее расположение костной перемычки 1-го шейного позвонка. В девяти случаях аномалия Киммерле носила односторонний характер, причём практически все они (89%) располагались слева.

Ponticulus posticus, располагавшийся справа в 24 случаях (73%) был замкнут (полная аномалия Киммерле) (рис. 2) и в 9 случаях (27%) незамкнут (неполная аномалия Киммерле). Костная перемычка первого шейного позвонка над левой дужкой в 32 (80%) случаях была замкнутая и в 8 (20%) – незамкнутая.

Проведение измерений параметров сводчатого отверстия методом томографии показало, что передне-задний размер при

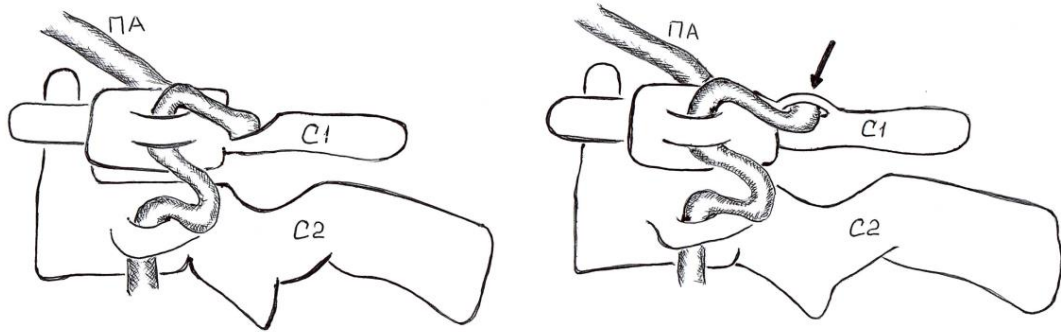


Рис. 1 (Fig. 1)

Рис. 1. Схема.

Слева обычный первый шейный позвонок с огибающей его позвоночной артерией. Справа над артерией стрелкой указана дужка – аномалия Киммерле [29]. ПА – позвоночная артерия, С1 – первый шейный позвонок, С2 – второй шейный позвонок.

Fig. 1. Scheme.

On the left there is the usual first cervical vertebra with the vertebral artery enveloping it. On the right above the artery, an arrow indicates an arch – Kimmerle's anomaly [29]. PA – vertebral artery, C1 – first cervical vertebra, C2 – second cervical vertebra.

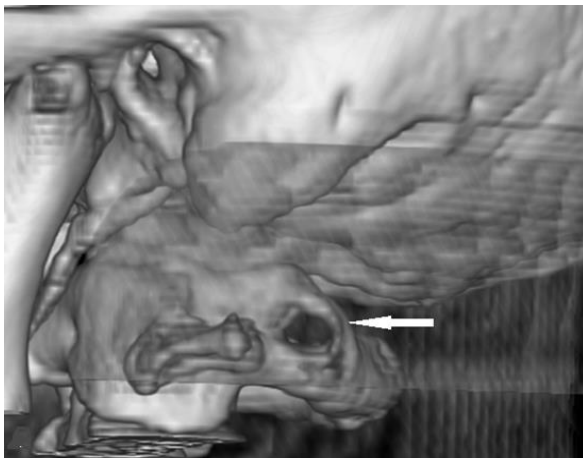


Рис. 2 а (Fig. 2 а)



Рис. 2 б (Fig. 2 б)

Рис. 2. КТ, 3D-реконструкция.

Пациент Ш., 39 лет. Краниовертебральное сочленение: а – заднее полное кольцо Киммерле слева, б – неполное кольцо справа.

Fig. 2. CT, 3D reconstruction.

Patient Sh., 39 years old. Craniovertebral articulation: a – posterior complete Kimmerle ring on the left, b – incomplete ring on the right.

измерениях составил от 5,4 до 7,4 мм, вертикальный размер отверстия – от 5,0 до 6,8 мм. Толщина костной перегородки, формирующая крышу отверстия, варьировала от 0,7 до 2,9 мм.

Чтобы уточнить причину возникновения вышеперечисленных неврологических жалоб и установить связь с аномалией Киммерле, мы провели доплерографическое обследование сосудов шейного отдела. При проведении УЗ-доплерографии V3 сегмента позвоночных артерий, опираясь на опыт учёных [1], мы столкнулись с рядом трудностей: короткая шея, большая толщина мягких тканей, сложный ход позвоночной артерии. В результате лишь у 2 из 41 пациента была получена визуализация V3 сегмента, что не дало диагностически значимой информации и согласуется с данными некоторых авторов [13].

На следующем этапе нами было проведено обследование больных методом ультразвуковой транскраниальной доплерографии, при которой выявили снижение скоростных показателей кровотока в 4 сегменте позвоночных артерий, охваченных замкнутым костным кольцом при аномалии Киммерле.

Основываясь на нормативных показателях кровотока в позвоночных артериях по Цвибелю [13], определили различной степени выраженности снижение скорости кровотока. У пациентов с односторонним незамкнутым вариантом аномалии Киммерле молодого возраста гемодинамически значимых изменений скорости кровотока не отмечали: в V3 сегменте позвоночной артерии средняя скорость кровотока составила $35,7 \pm 6$ см/с, в V4 сегменте – $38,2 \pm 6,2$ см/с. В противовес этим данным в остальных группах у пациентов с диагностированным незамкнутым вариантом аномалии Киммерле, мы констатировали снижение кровотока в пределах нижней грани нормативных критериев: средняя скорость кровотока в V3 сегменте позвоночной артерии составила $27,2 \pm 5,2$ см/с, в V4 сегменте – $28,3 \pm 5,3$ см/с. У пациентов с замкнутой формой аномалии Киммерле во всех возрастных группах отмечались гемодинамически значимые изменения кровотока на данной стороне, хотя не всегда приводило к неврологической симптоматике: в V3 сегменте – $20,1 \pm 4,5$ см/с, V4 сегменте – $21,4 \pm 4,6$ см/с, что вероятно компенсировалось противоположной позвоночной артерией, где скорости кровотока находились в пределах нормы. Лишь наличие замкнутого костного кольца C1 с двух сторон приводило к замедлению кровотока по базилярной ар-

терии ($26,5 \pm 5,1$ см/с).

Так как проведённые ультразвуковые исследования сосудов краниовертебральной зоны не дали полной анатомической оценки интракраниальных отделов позвоночных артерий, всем пациентам с аномалией Киммерле целенаправленно была выполнена МР-ангиография, в ходе которой у 24 (58,5%) пациентов с аномалией Киммерле визуализирован различных типов разобщённый артериальный круг большого мозга. Наиболее часто наблюдалась прерывистость заднего отдела артериального круга большого мозга в виде аплазии задней соединительной артерии, а также задней трифуркации внутренней сонной артерии. У 22 (53,7%) обследованных диагностировано отсутствие задней соединительной артерии, а у 13 (31,7%) из них не визуализировались соединительные артерии с обеих сторон, у 6 (14,6%) – задняя соединительная артерия слева и у 3 (7,3%) – справа.

Признаком, характеризующим особенности строения магистральных артерий головы у обследованных с аномалией Киммерле, также являлась извитость сосудов краниовертебрального отдела, отмеченная у 15 обследованных (36,6%) в V3 и V4 сегментах позвоночной артерии. У большинства пациентов диагностированы сочетания различных вариантов извитости. S-образная извитость позвоночной артерии выявлена у 12 (29,3%) пациентов, S-образная – у 6 (14,6%), образование перегибов отмечено у 5 (12,2%) больных.

При измерении диаметра сосудов методом МР-ангиографии на уровне V3-V4, поперечный размер позвоночных артерий в среднем составил $3,3 \pm 0,7$ мм с двух сторон ($3,24 \pm 0,76$ слева, и $3,17 \pm 0,76$ справа). При этом показатели менее 3 мм отмечались в 32,9%, что соответствует параметрам оценки гипоплазии позвоночной артерии по данным литературы [27].

Обсуждение.

Как видно, изучение патогенеза вертебрально-базилярной недостаточности, уточнение влияния дегенеративных изменений в шейном отделе позвоночника на развитие гемодинамических нарушений в вертебрально-базилярном сосудистом бассейне, поиск и апробация новых подходов к диагностике, оптимизация лечебных воздействий при данной патологии представляются актуальными, что создаёт предпосылки для проведения исследований.

На сегодняшний день способности компьютерной и магнитно-резонансной томографии для получения подробной анато-

мической информации о строении позвоночника и краниовертебрального отдела, предоставляет уникальную возможность возобновить внимание к этой сложной области скелета [26].

Статистика говорит, что в среднем встречаемость аномалии Киммерле 16-20%, а это каждый 5-6 человек! В нашем исследовании частота сводчатого отверстия приближена к средней встречаемости по населению [20, 24], однако, по данным некоторых авторов костный мостик определяется от 8% до 10-12% случаев [9]. С другой стороны, в некоторых исследованиях подобные изменения были диагностированы у 37,5% пациентов и даже от 37% до 80% обследованных [6, 16]. В исследованиях отдельных авторов говорится, что часто встречаются неполные формы с множеством различных вариаций, в результате чего нет их последовательной классификации в литературе и они могут быть не учтены [27]. Эти изменения сочетаются с вариантами патологических изменений сосудов артериального круга большого мозга, магистральных артерий головы и внутримозговой венозной системы.

Обзор литературных источников подтверждает значимость сосудистых изменений в патогенезе головной боли, что определяет тактику лечения и профилактики. К сожалению, на сегодняшний день врачи не задумываются, а некоторые и не знают о существовании данной патологии и месяцами, а порой годами проводят симптоматическую терапию, не подозревая что рутинными методами можно подтвердить или исключить аномалию Киммерле. Данные этих обследований могли бы обеспечить профилактику и лечение цереброваскулярных нарушений у таких пациентов.

Для того, чтобы дать прогноз о влиянии наличия *ponticulus posticus* необходимо решить несколько вопросов:

- установить соотношение диаметров сосудов между собой и с диаметром костного кольца первого шейного позвонка,
- определить полная или неполная перемычка,
- односторонний или двусторонний характер изменения,
- варианты строения магистральных сосудов в каждом индивидуальном случае.

Проведённая нами компьютерная томография дала возможность дифференцировать полную и неполную перемычку, а также одно- и двухсторонний характер изменений при аномалии Киммерле. Для определения вариантов строения магистральных сосудов краниовертебральной зоны, на следующем

этапе была проведена МР-ангиография, данные которой в каждом индивидуальном случае в сочетании с компьютерной томографией дали возможность оценить диаметр позвоночных артерий между собой и с диаметром костного кольца атласа. Гипоплазированная позвоночная артерия чаще отмечалась на стороне, где была выявлена замкнутая форма аномалии Киммерле.

Посредством транскраниальной доплерографии было установлено различной выраженности понижение скорости кровотока в зависимости от вариантов костного кольца атласа. Выявленные гемодинамические изменения, возможно, являются доказательством выраженности неврологических жалоб.

Совокупность этих данных может давать прогноз о возможных причинных факторах, которые могут вызвать снижение мозгового кровотока, что в свою очередь ведёт к ранней инвалидизации и утрате работоспособности.

Заключение.

Подчеркнута значимость роли спондилогенного фактора, который может являться причиной или способствовать развитию нарушений кровообращения в вертебрально-базиллярной системе. Исследования варианта развития первого шейного позвонка с наличием костной перемычки показали, что аномалия Киммерле может встречаться во всех возрастных категориях, с частотой выявляемости в пределах 17,8% случаев.

При выборе тактики лечения аномалии Киммерле необходимо проведение компьютерной томографии и МР-ангиографии, а также транскраниальной доплерографии для уточнения характера кровотока по позвоночным артериям. Не следует, забывать, что дисфункции в вертебробазиллярной области находятся в сфере внимания невропатологов, вертебологов, специалистов по мануальной терапии и остеопатии, в том числе краниальной. Все это свидетельствует о необходимости комплексного подхода к диагностике данной проблемы.

Раннее выявление признаков артериальной и венозной дисциркуляции обеспечит профилактику и лечение цереброваскулярных нарушений у пациентов с аномалией Киммерле.

Источник финансирования и конфликт интересов.

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

Список литературы:

1. Абдуллаев, Р. Я., Хвусюк, А. Н., Марченко, В. Г., Кадырова, Л. А. Ультразвуковая визуализация и доплерография позвоночной артерии при различной патологии. *Международный медицинский журнал*. 2005.
2. Алиев К.Т., Бондаренко Е.В., Волкова С.А., Лобацевич Д.А., Правдина А.Н., Смолко Д.Г. К вопросу о клинике спондилогенных нарушений кровообращения в вертебрально-базиллярном бассейне. *Ученые записки СПбГМУ им. акад. И.П. Павлова*. 2012; XIX (1): 60-63.
3. Андреева И.В., Калина Н.В. Сравнительная оценка инструментальных методов исследования позвоночной артерии. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Медицина. Фармация*. 2013; 23 (18 (161)).
4. Глаголев Н.В., Козлитина Т.Н., Лейбович Б.Е. Морфологические изменения задней атланта-окципитальной мембраны у детей, перенесших натальную травму шейного отдела позвоночника. *Вестник новых медицинских технологий*. 2010; XVII (2): 107-108.
5. Кичерова О.А., Рейхерт Л.И. Клинический случай спинального инсульта у молодого человека с аномалией Киммерле. *Тюменский медицинский журнал*. 2017; 19 (3).
6. Луцки А.А., Пеганов А.И., Казанцев В.В., Раткин И.К. Вертебрально-базиллярная недостаточность, обусловленная костными аномалиями краниовертебрального перехода. *Хирургия позвоночника*. 2016; 13 (4).
7. Рейхерт Л.И., Кичерова О.А., Прилепская О.А. Острые и хронические проблемы цереброваскулярной патологии. 2015.
8. Самсонова И.В., Солодков А.П., Бурак Г.Г., Новикова О.В. Вертебрально-базиллярная недостаточность: проблемы и перспективы решения. *Вестник Витебского государственного медицинского университета*. 2006; 5 (4).
9. Скоромец А.А., Богородинский Д.К., Амелин А.В., Андреев В.В. Краниовертебральная патология. М. ГЭОТАР-Медиа. 2008.
10. Скоромец А.А., Скоромец Т.А., Скоромец А.П. Топическая диагностика заболеваний нервной системы: Руководство для врачей. Акционерное общество Издательство Политехника. 2014.
11. Суслина З.А., Гулевская Т.С., Максимова М.Ю., Моргунов В.А. Нарушения мозгового кровообращения: диагностика, лечение, профилактика. 2016.
12. Хабиров Ф.А., Рахматуллина Э.Ф., Кочергина О.С., Хайбуллин Т.И., Гранатов Е.В. Острые ишемические нарушения спинального кровообращения. *Практическая медицина*. 2013; 1 (66).
13. Цвибель, В. Д., Пеллерито, Д. С. Ультразвуковое исследование сосудов. 2008.
14. Шукин И.А., Лебедева А.В., Бурд, С.Г., Фидлер М.С., Шихкеримов Р.К., Исмаилов А.М., Петров С.В. Хроническая ишемия головного мозга: синдромологические подходы к терапии. *Неврология и ревматология. Приложение к журналу Consilium Medicum*. 2015; (1): 17-24.
15. Abtahi A.M., Brodke D.S., Lawrence B.D. Vertebral artery anomalies at the craniovertebral junction: a case report and review of the literature. *Evidence-based spine-care journal*. 2014; 5 (2): 121.
16. Ahn J., Duran M., Syldort S., Rizvi A., D'Antoni A.V., Johal J., Tubbs R.S. Arcuate foramen: anatomy, embryology, nomenclature, pathology, and surgical considerations. *World neurosurgery*. 2018; 118: 197-202.
17. Cirpan S., Yonguc G.N., Edizer M., Mas N.G., Magden A.O. Foramen arcuale: a rare morphological variation located in atlas vertebrae. *Surgical and Radiologic Anatomy*. 2017; 39 (8): 877-884.
18. Cronin C.A., Aldrich E.F., Kittner S.J. Occipital bone abnormality causing recurrent posterior circulation strokes. *Stroke*. 2011; 42 (5): e370-e372.
19. Dushmanamedov M.Z., Rizaev J.A., Dushmanamedov D.M., Khadjimetov A., Yuldashev A. Compensator-adaptive reactions of patients' organism with gnathic form of dental occlusion anomalies. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*. 2020; 24 (02): 2142-2155. <https://doi.org/10.37200/ijpr/v24i4/pr201325>
20. Elliott R.E., Tanweer O., Boah A., Morsi A., Ma T., Frempong-Boadu A., Smith M.L. Outcome comparison of atlantoaxial fusion with transarticular screws and screw-rod constructs: meta-analysis and review of literature. *Clinical Spine Surgery*. 2014; 27 (1): 11-28.
21. Elliott R.E., Tanweer O. The prevalence of the ponticulus posticus (arcuate foramen) and its importance in the Goel-Harms procedure: meta-analysis and review of the literature. *World neurosurgery*. 2014; 82 (1-2): e335-e343.
22. Eltazarova G.S., Khudayarova D.R., Usmonova M.F. Frequency and structure of congenital development anomalies. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*. 2020; 24 (8): 6967-6975.
23. Gibelli D., Cappella A., Cerutti E., Spagnoli L., Dolci C., Sforza C. Prevalence of ponticulus posticus in a Northern Italian orthodontic population: a lateral cephalometric study. *Surgical and Radiologic Anatomy*. 2016; 38 (3): 309-312.
24. Ouyang Z. Y., Qiu M. J., Zhao Z., Wu X. B., Tong L. S. Republished: Congenital anomaly of the posterior arch of the atlas: a rare risk factor for posterior circulation stroke. *Journal of NeuroInterventional Surgery*. 2017; 9 (7): e27-e27.
25. Ríos L., Mata-Escolano F., Blanco-Pérez E., Llidó S., Bastir M., Sanchis-Gimeno J.A. Acute headache attributed to whiplash in arcuate foramen and non-arcuate foramen subjects. *European Spine Journal*. 2017; 26 (4): 1262-1265.
26. Song S.H., Roh H.G., Kim H.Y., Choi J.W., Moon W.J., Choe W.J., Jung I. Recurrent posterior circulation infarction caused by anomalous occipital bony process in a young patient. *BMC neurology*. 2014; 14 (1): 1-5.
27. Tarnoki, A. D., Fejer, B., Tarnoki, D. L., Littvay, L., Lucatelli, P., Cirelli, C., ... & Baracchini, C. Vertebral artery diameter and flow: nature or nurture. *Journal of Neuroimaging*. 2017; 27 (5): 499-504.
28. Travan L., Saccheri P., Gregoraci G., Mardegan C., Crivelato E. Normal anatomy and anatomic variants of vascular foramina in the cervical vertebrae: a paleo-osteological study and review of the literature. *Anatomical science international*. 2015; 90 (4): 308-323.
29. <https://vseglisty.ru/wpcontent/uploads/a/e/5/ae5446bedd372c0a40d09f125d68f0d0.jpg>

References:

1. Abdullaev, R. Ya., Khvisyuk, AN, Marchenko, VG, Kadyrova, LA *Ultrasound imaging and Doppler ultrasonography of the vertebral artery in various pathologies. International Medical Journal. 2005 (in Russian).*
2. Aliev K.T., Bondarenko E.V., Volkova S.A., Lobatsevich D.A., Pravdina A.N., Smolko D.G. *On the question of the clinic of spondylogenic circulatory disorders in the vertebrobasilar basin. Scientific notes of St. acad. I.P. Pavlova. 2012; XIX (1): 60-63 (in Russian).*
3. Andreeva I.V., Kalina N.V. *Comparative evaluation of instrumental methods for examining the vertebral artery. Scientific statements of the Belgorod State University. Series: Medicine. Pharmacy. 2013; 23 (18 (161)) (in Russian).*
4. Glagolev N.V., Kozlitina T.N., Leibovich B.E. *Morphological changes in the posterior atlanto-occipital membrane in children with a natal injury of the cervical spine. Bulletin of new medical technologies. 2010; XVII (2): 107-108 (in Russian).*
5. Kicherova O.A., Reichert L.I. *A clinical case of spinal stroke in a young man with Kimmerle's anomaly. Tyumen Medical Journal. 2017; 19 (3) (in Russian).*
6. Lutsik A.A., Peganov A.I., Kazantsev V.V., Ratkin I.K. *Vertebrobasilar insufficiency due to bone anomalies of the craniovertebral junction. Spine surgery. 2016; 13 (4) (in Russian).*
7. Reichert L.I., Kicherova O.A., Prilepskaya O.A. *Acute and chronic problems of cerebrovascular pathology. 2015 (in Russian).*
8. Samsonova I.V., Solodkov A.P., Burak G.G., Novikova O.V. *Vertebrobasilar insufficiency: problems and solution prospects. Bulletin of Vitebsk State Medical University. 2006; 5 (4) (in Russian).*
9. Skoromets A.A., Bogorodinsky D.K., Amelin A.V., Andreev V.V. *Craniovertebral pathology. M., GEOTAR-Media., 2008 (in Russian).*
10. Skoromets A.A., Skoromets T.A., Skoromets A.P. *Topical Diagnosis of Diseases of the Nervous System: A Guide for Physicians. Joint Stock Company Publishing House Polytechnic. 2014 (in Russian).*
11. Suslina Z.A., Gulevskaya T.S., Maksimova M.Yu., Morgunov V.A. *Cerebral circulation disorders: diagnosis, treatment, prevention. 2016 (in Russian).*
12. Khabirov F.A., Rakhmatullina E.F., Kochergina O.S., Khaibullin T.I., Granatov E.V. *Acute ischemic disorders of the spinal circulation. Practical medicine. 2013; 1 (66) (in Russian).*
13. Zvibel, VD, Pellerito, DS *Ultrasound examination of blood vessels. 2008 (in Russian).*
14. Shchukin I.A., Lebedeva A.V., Burd, S.G., Fidler M.S., Shikhkerimov R.K., Ismailov A.M., Petrov S.V. *Chronic cerebral ischemia: syndromological approaches to therapy. Neurology and rheumatology. Supplement to the Consilium Medicum magazine. 2015; (1): 17-24 (in Russian).*
15. Abtahi A.M., Brodke D.S., Lawrence B.D. *Vertebral artery anomalies at the craniovertebral junction: a case report and review of the literature. Evidence-based spine-care journal. 2014; 5 (2); 121.*
16. Ahn J., Duran M., Syldort S., Rizvi A., D'Antoni A.V., Johal J., Tubbs R.S. *Arcuate foramen: anatomy, embryology, nomenclature, pathology, and surgical considerations. World neurosurgery. 2018; 118: 197-202.*
17. Cirpan S., Yonguc G.N., Edizer M., Mas N.G., Magden A.O. *Foramen arcuale: a rare morphological variation located in atlas vertebrae. Surgical and Radiologic Anatomy. 2017; 39 (8): 877-884.*
18. Cronin C.A., Aldrich E.F., Kittner S.J. *Occipital bone abnormality causing recurrent posterior circulation strokes. Stroke. 2011; 42 (5): e370-e372.*
19. Dusmukhamedov M.Z., Rizaev J.A., Dusmukhamedov D.M., Khadjimetov A., Yuldashev A. *Compensator-adaptive reactions of patients' organism with gnathic form of dental occlusion anomalies. International Journal of Psychosocial Rehabilitation. 2020; 24 (02): 2142-2155. <https://doi.org/10.37200/ijpr/v24i4/pr201325>*
20. Elliott R.E., Tanweer O., Boah A., Morsi A., Ma T., Frempong-Boadu A., Smith M.L. *Outcome comparison of atlantoaxial fusion with transarticular screws and screw-rod constructs: meta-analysis and review of literature. Clinical Spine Surgery. 2014; 27 (1): 11-28.*
21. Elliott R.E., Tanweer O. *The prevalence of the ponticulus posticus (arcuate foramen) and its importance in the Goel-Harms procedure: meta-analysis and review of the literature. World neurosurgery. 2014; 82 (1-2): e335-e343.*
22. Eltazarova G.S., Khudayarova D.R., Usmonova M.F. *Frequency and structure of congenital development anomalies. International Journal of Psychosocial Rehabilitation. 2020; 24 (8): 6967-6975.*
23. Gibelli D., Cappella A., Cerutti E., Spagnoli L., Dolci C., Sforza C. *Prevalence of ponticulus posticus in a Northern Italian orthodontic population: a lateral cephalometric study. Surgical and Radiologic Anatomy. 2016; 38 (3): 309-312.*
24. Ouyang Z. Y., Qiu M. J., Zhao Z., Wu X. B., Tong L. S. *Republished: Congenital anomaly of the posterior arch of the atlas: a rare risk factor for posterior circulation stroke. Journal of NeuroInterventional Surgery. 2017; 9 (7): e27-e27.*
25. Ríos L., Mata-Escolano F., Blanco-Pérez E., Llidó S., Bastir M., Sanchis-Gimeno J.A. *Acute headache attributed to whiplash in arcuate foramen and non-arcuate foramen subjects. European Spine Journal. 2017; 26 (4): 1262-1265.*
26. Song S.H., Roh H.G., Kim H.Y., Choi J.W., Moon W.J., Choe W.J., Jung I. *Recurrent posterior circulation infarction caused by anomalous occipital bony process in a young patient. BMC neurology. 2014; 14 (1): 1-5.*
27. Tarnoki, A. D., Fejer, B., Tarnoki, D. L., Littvay, L., Lucatelli, P., Cirelli, C., ... & Baracchini, C. *Vertebral artery diameter and flow: nature or nurture. Journal of Neuroimaging. 2017; 27 (5): 499-504.*
28. Travan L., Saccheri P., Gregoraci G., Mardegan C., Crivelato E. *Normal anatomy and anatomic variants of vascular foramina in the cervical vertebrae: a paleo-osteological study and review of the literature. Anatomical science international. 2015; 90 (4): 308-323.*
29. <https://vseglisty.ru/wpcontent/uploads/a/e/5/ae5446bedd372c0a40d09f125d68f0d0.jpg>