



KIMMERLE ANOMALIYASIDA ZAMONAVIY NEYROFIZIOLOGIK DIAGNOSTIKA: TRANSKRANIAL DOPPLER MONITORINGI, QO‘ZG‘ATILGAN POTENSIALLAR VA VESTIBULAR TESTLARNING KLINIK AHAMIYATI

Ummatqulova Shaxzoda To‘lqin qizi
Aliyev Mansur Abduxoliqovich

Samarqand davlat tibbiyot universiteti huzuridagi Neyroxirurgiya va neyrorabilitatsiya
ixtisoslashtirilgan ilmiy-amaliy markazi

Annotatsiya

Dolzarblik. Kimmerle anomaliyasi atlasning posterior yoyida umurtqa arteriyasining V3 segmenti ustida qisman yoki to‘liq suyak ko‘prigi shakllanishi bilan kechadigan kraniovertebral anatomik variantdir. Morfologik anomaliya ko‘pchilik bemorlarda simptomsiz bo‘lsa-da, ayrim holatlarda boshning rotatsiyasi yoki ekstensiyasi paytida umurtqa arteriyasining dinamik kompressiyasi, vertebrobazilyar perfuziyaning pasayishi va vestibulyar, vizual yoki miya ustuni bilan bog‘liq funksional buzilishlar kuzatilishi mumkin. Shu sababli struktural tasvirlash bilan bir qatorda gemodinamik va neyrofiziologik tekshiruvlar klinik ahamiyatli anomaliyani tasodifiy morfologik topilmadan farqlashda muhimdir.

Material va usullar. Kimmerle anomaliyasi, vertebral arteriyaning dinamik kompressiyasi, vertebrobazilyar yetishmovchilik, transkranial Doppler, dupleks ultratovush, brainstem auditory evoked potentials, visual evoked potentials, somatosensory evoked potentials, vestibular evoked myogenic potentials va videonistagmografiyaga oid ilmiy adabiyotlar strukturaviy narrativ usulda tahlil qilindi.

Natijalar. Dinamik transkranial Doppler va vertebral arteriyalarni dupleks monitoring qilish boshning provokatsion holatlarida qon oqimining vaqtinchalik pasayishini bevosita qayd etish imkonini beradi va klinik ahamiyatli gemodinamik konfliktini aniqlashda asosiy funksional usul sifatida ajralib turadi. BAEP miya ustuni eshituv yo‘llaridagi funksional kechikishni, VEP posterior serebral perfuziya bilan bog‘liq vizual tizim disfunktsiyasini, SSEP esa somatosensory o‘tkazuvchanlikni qo‘shimcha ravishda baholashi mumkin. VEMP, vHIT va videonistagmografiya vestibulyar simptomlarning periferik yoki markaziy xususiyatlarini aniqlashda yordam beradi.

Xulosa. Kimmerle anomaliyasida neyrofiziologik diagnostika alohida testga emas, balki klinik simptom, provokatsion gemodinamika va sensor-nevral funksiyani birlashtiruvchi multimodal yondashuvga asoslanishi kerak. Dinamik TCD asosiy funksional skrining usuli bo‘lib, qo‘zg‘atilgan potentsiallar va vestibulyar testlar tanlangan bemorlarda qo‘shimcha diagnostik va prognostik ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: Kimmerle anomaliyasi, ponticulus posticus, umurtqa arteriyasi, V3 segment, transkranial Doppler, BAEP, VEP, SSEP, VEMP, videonistagmografiya, vertebrobazilyar yetishmovchilik.

СОВРЕМЕННАЯ НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ПРИ АНОМАЛИИ КИММЕРЛЕ: ТРАНСКРАНИАЛЬНЫЙ ДОПЛЕРОВСКИЙ МОНИТОРИНГ, ВЫЗВАННЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ И КЛИНИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ВЕСТИБУЛЯРНЫХ ТЕСТОВ

Умматкулова Шахзода Тулкин кизи
Алиев Мансур Абдухоликович

Специализированный научно-практический центр нейрохирургии и нейрореабилитации
при Самаркандском Медицинском Университете

Аннотация

Актуальность. Аномалия Киммерле представляет собой вариант краниовертебрального перехода, при котором над V3-сегментом позвоночной артерии на задней дуге атланта формируется частичный или полный костный мостик. У большинства пациентов данная особенность остается бессимптомной, однако в отдельных случаях ротация или разгибание головы могут сопровождаться динамической компрессией позвоночной артерии, снижением вертебробазилярной перфузии и появлением вестибулярных, зрительных или стволовых функциональных нарушений. В связи с этим функциональная гемодинамическая и нейрофизиологическая диагностика приобретает важное значение для дифференциации случайной анатомической находки и клинически значимого нейроваскулярного конфликта.

Материалы и методы. Проведен структурированный нарративный анализ исследований, посвященных аномалии Киммерле, динамической компрессии позвоночной артерии, вертебробазилярной недостаточности, транскраниальной доплерографии, дуплексному сканированию, стволовым слуховым, зрительным и соматосенсорным вызванным потенциалам, вестибулярным миогенным вызванным потенциалам и видеонистагмографии.

Результаты. Динамический транскраниальный доплеровский мониторинг и дуплексное исследование позвоночных артерий позволяют регистрировать преходящие изменения кровотока во время провокационных движений головы и представляют наиболее прямой функциональный метод выявления гемодинамически значимой компрессии. ВАЕР позволяют оценивать функциональное состояние слуховых проводящих систем ствола мозга, VEP - функциональную целостность зрительных путей, SSEP - соматосенсорное проведение. VEMP, vHIT и видеонистагмография дополняют оценку пациентов с головокружением и нарушениями равновесия.

Заключение. Нейрофизиологическая диагностика аномалии Киммерле должна строиться на мультимодальном принципе, объединяющем воспроизводимость симптомов, динамические гемодинамические изменения и объективные показатели функции нервной системы. Наибольшую практическую ценность имеет динамический доплеровский мониторинг, тогда как вызванные потенциалы и вестибулярные тесты выполняют вспомогательную роль.

Ключевые слова: аномалия Киммерле, ponticulus posticus, позвоночная артерия, V3-сегмент, транскраниальная доплерография, ВАЕР, VEP, SSEP, VEMP, вертебробазилярная недостаточность.

**MODERN NEUROPHYSIOLOGICAL DIAGNOSIS OF KIMMERLE ANOMALY:
TRANSCRANIAL DOPPLER MONITORING, EVOKED POTENTIALS, AND THE
CLINICAL VALUE OF VESTIBULAR TESTING**

Ummatkulova Shakhzoda

Aliev Mansur Abdukhovich

Specialized scientific and practical center for Neurosurgery and Neurorehabilitation at the
Samarkand State Medical University

Abstract

Background. Kimmerle anomaly is a craniovertebral junction variant characterized by partial or complete formation of an osseous bridge over the V3 segment of the vertebral artery on the posterior arch of the atlas. Although usually asymptomatic, selected patients may develop dynamic vertebral artery compression during head rotation or extension, resulting in transient vertebrobasilar hypoperfusion and vestibular, visual, or brainstem-related functional disturbances. Functional hemodynamic and neurophysiological assessment may therefore help distinguish an incidental anatomical variant from a clinically significant neurovascular conflict.

Materials and Methods. A structured narrative review was conducted using studies addressing Kimmerle anomaly, rotational vertebral artery compression, vertebrobasilar insufficiency, transcranial Doppler monitoring, duplex ultrasonography, brainstem auditory evoked potentials, visual evoked potentials, somatosensory evoked potentials, vestibular evoked myogenic potentials, video head impulse testing, and videonystagmography.

Results. Dynamic transcranial Doppler and duplex monitoring permit direct recording of transient flow alterations during provocative head positions and provide the most clinically applicable functional screening method for hemodynamically significant vertebral artery compression. BAEP may demonstrate brainstem auditory conduction abnormalities, whereas VEP and SSEP can reveal additional visual or somatosensory pathway dysfunction. VEMP, vHIT, and videonystagmography contribute to the differentiation of peripheral and central vestibular mechanisms in symptomatic patients.

Conclusion. Neurophysiological evaluation of Kimmerle anomaly should be multimodal and should integrate reproducible positional symptoms, dynamic posterior-circulation hemodynamics, and objective assessment of neural pathway function. Dynamic Doppler monitoring is the principal functional screening tool, whereas evoked potentials and vestibular examinations serve as complementary investigations in selected patients.

Keywords: Kimmerle anomaly, ponticulus posticus, vertebral artery, V3 segment, transcranial Doppler, BAEP, VEP, SSEP, VEMP, vertebrobasilar insufficiency.

Kirish. Kimmerle anomaliyasi yoki atlasning orqa suyak ko‘prigi atlasning orqa yoyida umurtqa arteriyasi egati ustida qisman yoki to‘liq suyak ko‘prigi shakllanishi bilan tavsiflanadi. Ushbu suyak tuzilmasi odatda ochiq bo‘lgan umurtqa arteriyasi egatini qisman yoki to‘liq suyak kanaliga aylantiradi. Mazkur kanal orqali umurtqa arteriyasining V3 segmenti, arteriya atrofidagi vegetativ nerv tolalari, venoz pleksus elementlari hamda C1 nerv tuzilmalari o‘tadi [1–4]. Atlasning orqa suyak ko‘prigi aholi orasida nisbatan keng tarqalgan anatomik variant bo‘lganligi sababli, uning rentgenologik aniqlanishi o‘z-o‘zidan patologik holat yoki vertebrobazilyar yetishmovchilik tashxisini anglatmaydi [1–3].

Anomaliyaning klinik ahamiyati uning morfologik mavjudligidan ko‘ra, vertebral arteriya va unga yaqin neyrovaskulyar tuzilmalar bilan funksional munosabatiga bog‘liq. Ayrim bemorlarda V3 segment suyak kanali ichida yetarlicha erkin joylashadi va bosh harakati vaqtida gemodinamik ahamiyatli o‘zgarish kuzatilmaydi. Boshqa holatlarda esa dominant yoki funksional jihatdan muhim umurtqa arteriyasi ponticulus ostida nisbatan tor anatomik fazoda joylashib, boshning rotatsiyasi, ekstensiyasi yoki kombinatsiyalangan harakati vaqtida cho‘zilish, kinking yoki dinamik ekstravazal kompressiyaga uchrashi mumkin [4–8]. Hong va hammualliflarning uch o‘lchamli KT-angiografik tadqiqoti C1 posterior yoyi hamda umurtqa arteriyasining V3 segmenti anatomiyasi yuqori darajada variabel ekanligini ko‘rsatgan [5]. Wakao va hammualliflar esa hatto servikal patologiyasi bo‘lmagan subyektlarda persistent first intersegmental artery, vertebral artery fenestration va boshqa vaskulyar variantlar mavjudligini aniqlagan [6]. Gul va Atik ponticulus posticus bilan vertebral artery diametri o‘rtasidagi munosabatni zamonaviy tomografik metodlar yordamida tekshirgan [7]. Ushbu ma‘lumotlar morfologik Kimmerle anomaliyasi mavjudligini funksional gemodinamik ahamiyat bilan tenglashtirmaslik zarurligini ko‘rsatadi [5–7]. Kimmerle anomaliyasi bilan bog‘liq simptomlar ham nospetsifik hisoblanadi. Adabiyotlarda oksipital bosh og‘rig‘i, bosh aylanishi, beqarorlik, ko‘z qamashishi, ko‘z oldida fotopsiya, qisqa muddatli vizual xiralashish, hushidan ketish, ataksiya va boshni ma‘lum holatga burishda simptomlarning paydo bo‘lishi tavsiflangan [4, 8]. Polishchuk va hammualliflar Kimmerle anomaliyasi mavjud va vertebrobazilyar simptomlarga ega bemorlarda bo‘yin tomirlarini ultratovush tekshiruvini hamda funksional sinovli transkraniyal Doppler muhim ekanligini ta‘kidlagan [4]. Lukianchikov va hammualliflarning ponticulus posticus hamda ponticulus lateralis kombinatsiyasi bo‘lgan bemor haqidagi klinik ishida bosh rotatsiyasida simptomatik V3 kinking anatomik jihatdan isbotlangan [8]. Shu sababli Kimmerle anomaliyasida zamonaviy diagnostikaning asosiy savoli “suyak ko‘prigi mavjudmi?” emas, balki “ushbu morfologik variant bemorda bosh holatiga bog‘liq ravishda bosh miya yarim shari orqa bo‘lagi qon aylanishining yoki neyron o‘tkazuvchanlikning funksional buzilishini keltirib chiqaryaptimi?”

degan savoldir. Bu savolga oddiy rentgenografiya, MSKT yoki statik MSKT-angiografiya har doim javob bera olmaydi. Neytral pozitsiyadagi tomir lumenining normal ko'rinishi dinamik kompressiyani istisno qilmaydi [9–15].

Pozitsion vertebrobazilyar ishemiya bo'yicha Sturzenegger va hammualliflarning klassik ikki kanalli transkraniyal Doppler tadqiqoti bu muammoni aniq ko'rsatgan [9]. Stereotipik bosh holatiga bog'liq simptomlari bo'lgan bemorlarda orqa miya arteriyasi qon oqimi tezligi provokatsion harakatda juda keskin kamaygan va bosh neytral holatga qaytganda reaktiv giperemiya kuzatilgan; nazorat subyektlarida esa bosh rotatsiyasida ma'lum fiziologik pasayish bo'lishiga qaramay, bunday keskin gemodinamik javob kuzatilmagan [9]. Rossiti va Volkmann sog'lom odamlarda ham bosh rotatsiyasi vertebrobazilyar arteriyalarda oqim tezligini ma'lum darajada kamaytirishi mumkinligini ko'rsatgan [10]. Simon va hammualliflarning fiziologik Doppler tadqiqotlari ham ushbu holatni tasdiqlagan [11]. Demak, funksional testni talqin qilishda faqat tezlikning pasayishi emas, balki o'zgarish darajasi, reproduktivligi, simptom bilan sinxronligi va qarama-qarshi arteriyaning kompensator imkoniyatlari muhimdir [9–11]. 2025–2026-yilda umurtqa arteriyasining rotatsion kompressiya sindromi uchun ultratovush diagnostikasini standartlashtirishga qaratilgan ekspert tavsiyalari e'lon qilindi [12]. Mazkur yondashuv vertebral arteriyaning V1–V4 segmentlarini, basilar arteriya va orqa miya arteriyasi oqimini neytral holatda va bemorda simptomni keltirib chiqaruvchi bosh pozitsiyasida dinamik taqqoslashni taklif qiladi [12]. 2026-yilda Wu va hammualliflar ikki transduserli simultan TCD yordamida rotatsion vertebral artery compression bo'lgan bemorlarda bosh harakati vaqtida ikkala orqa miya arteriyasida oqimning keskin kamayishini va neytral holatga qaytganda reaktiv giperemiyani qayd etdilar [13]. Ushbu metodologiya Kimmerle anomaliyasi kabi C1 darajasidagi dinamik kompressiyani skrining qilish uchun ham fiziologik jihatdan muhim hisoblanadi, garchi maxsus Kimmerle kohortalarida uning diagnostik sezgirliги hozircha yirik tadqiqotlarda aniqlanmagan bo'lsa ham.

Bow Hunter yoki rotational vertebral artery syndrome bo'yicha sistematik tahlillar Kimmerle anomaliyasining dinamik vertebral artery occlusionning mumkin bo'lgan suyak sabablari qatoriga kirishini ko'rsatadi [14–17]. Rastogi va hammualliflarning 153 bemorni o'z ichiga olgan sharhida TCD, CTA, MRA va dinamik angiografiya qo'llanilgan, dinamik angiografiya esa tasdiqlovchi standart sifatida eng ko'p ishlatilgan [14]. Cornelius va hammualliflar kraniovertebral birikmadagi dinamik stenoz uchun diagnostik algoritm ishlab chiqqan [15]. Choi va hammualliflarning yangi sistematik tahlilida dinamik kateter DSA 104 holatdan 102 tasida tashxisni tasdiqlagan va turli atipik provokatsion holatlarning mavjudligi ko'rsatilgan [16]. Umurtqa arteriyasining rotatsion kompressiya sindromi bo'yicha zamonaviy klinik tavsiyalarda transkraniyal dopplerografiya yoki bo'yin tomirlarining dupleks ultratovush tekshiruvini noinvaziv funksional skrining usuli, dinamik angiografiya esa tashxisni tasdiqlovchi usul sifatida tavsiya etiladi [17]. Biroq Kimmerle anomaliyasida neyrofiziologik diagnostika faqat qon oqimini o'lchash bilan chegaralanmaydi. Bosh miyaning orqa qon aylanish havzasidagi ishemiya miya ustunidagi eshituv yo'llari, ko'ruv tizimi, vestibulyar refleks yoylari hamda somatosensor o'tkazuvchanlikka funksional ta'sir ko'rsatishi mumkin. Shu sababli miya ustunining eshituv chaqirilgan potentsiallari (BAEP), ko'ruv chaqirilgan potentsiallari (VEP), somatosensor chaqirilgan potentsiallar (SSEP), vestibulyar chaqirilgan miogen potentsiallar (VEMP) hamda video-okulografik tekshiruvlar ayrim klinik fenotiplarda qo'shimcha diagnostik ahamiyatga ega [18–27].

Kimmerle anomaliyasining o'ziga bevosita oid eng qiziqarli elektrofiziologik tadqiqotlardan biri Split va hammualliflar tomonidan bajarilgan. Radiologik tasdiqlangan Kimmerle anomaliyasi bo'lgan 16 nafar bemorda naqsh reversiyasi va yorug'lik chaqnashi asosidagi vizual chaqirilgan potentsiallar tekshirilib, taxminan 75% holatda turli darajadagi patologik javoblar aniqlangan [18]. Ushbu kichik va eski tadqiqot klinik sababiylikni isbotlamaydi, biroq Kimmerle anomaliyasi bilan birga keladigan vizual simptomlarni obyektiv funksional metodlar orqali tekshirish mumkinligini ko'rsatgan. Vertebrobazilyar yetishmovchilikka oid BAEP tadqiqotlari nisbatan ko'proq. Maurer va hammualliflarning klassik tadqiqotida erta eshituv chaqirilgan potentsiallari vertebrobazilyar havzada qon ta'minoti kamaygan bemorlarda eshituv nervi va miya ustuni tuzilmalarining turli segmentlarida funksional buzilishlarni aniqlash imkonini bergan [19]. Wang 93 nafar vertebrobazilyar qon ta'minoti yetishmovchiligi bo'lgan bemorda BAEP anomaliyasini yuqori

chastotada qayd etgan [20]. Živadinović va hammualliflar BAEP patologik o'zgarishlarining umurtqa arteriyasi oqimi Doppler orqali ko'proq kamaygan bemorlarda ko'proq uchrashini aniqlagan [21]. Keyingi tadqiqotlarda ham umurtqa arteriyasining aterosklerotik stenozi bilan miya ustuni bo'ylab nerv impulslarining o'tkazilishidagi o'zgarishlar o'rtasidagi bog'liqlik ko'rsatilgan [22].

Mohamed va hammualliflar bosh aylanishining vertebro bazilyar hamda novertebro bazilyar kelib chiqishini farqlashda transkraniyal dopplerografiya, eshituv miya ustuni chaqirilgan javoblari va elektronistagmografiya kombinatsiyasining diagnostik imkoniyatlarini o'rgangan [23]. Ularning natijalari alohida bitta testdan ko'ra multimodal funksional testlar batareyasi differensial diagnostikada ko'proq axborot berishi mumkinligini ko'rsatadi. Surunkali vertebro bazilyar yetishmovchilikda eshituv, somatosensor va ko'ruv chaqirilgan potentsiallaridagi o'zgarishlarning birgalikda uchrashi boshqa klassik elektrofiziologik tadqiqotlarda ham qayd etilgan [24, 25].

Vestibulyar diagnostika Kimmerle anomaliyasida ayniqsa muhim, chunki bosh aylanishi eng ko'p muhokama qilinadigan simptomlardan biridir. Biroq bosh aylanishi vertebro bazilyar ishemiya, yaxshi sifatli paroksizmal pozitsion vertigo, vestibulyar migren, Menyer kasalligi, ikki tomonlama vestibulopatiya yoki servikogen bosh aylanishi sababli ham yuzaga kelishi mumkin. Shu sababli vestibulyar tekshiruvlar Kimmerle anomaliyasining mavjudligini tasdiqlash uchun emas, balki simptomlarning ehtimoliy patofiziologik mexanizmini differensial baholash uchun qo'llanadi [26–30]. cVEMP va oVEMP otolit organlari hamda ularning reflektor yo'llarini baholaydi. Rosengren va hammualliflar VEMP metodologiyasi, stimulyatsiya va yozuvning asosiy texnik talablari hamda klinik cheklovlarini batafsil bayon qilgan [26]. American Academy of Neurology amaliy qo'llanmasi VEMPning ayrim vestibulyar kasalliklarda diagnostik qiymati tasdiqlanganini, biroq boshqa patologiyalarda test natijasi klinik kontekstda talqin qilinishi kerakligini ko'rsatadi [27]. Zamonaviy vertebro bazilyar yetishmovchilik tadqiqotlarida cVEMP va video head impulse test posterior circulation bilan bog'liq vertigoni boshqa vestibulyar kasalliklardan farqlashda o'rganilmoqda [28]. Videonistagmografiya esa bosh harakati paytida hosil bo'ladigan nistagmning yo'nalishi va markaziy/periferik xarakterini hujjatlashtirish imkonini beradi [13, 17, 23].

Material va usullar. Mazkur tadqiqot strukturaviy narrativ sharh shaklida bajarildi. Adabiyotlarni tanlashda “Kimmerle anomaly”, “ponticulus posticus”, “vertebral artery compression”, “rotational vertebral artery syndrome”, “Bow Hunter syndrome”, “vertebrobasilar insufficiency”, “transcranial Doppler”, “duplex ultrasonography”, “brainstem auditory evoked potentials”, “visual evoked potentials”, “somatosensory evoked potentials”, “vestibular evoked myogenic potentials”, “video head impulse test” va “videonystagmography” terminlari bo'yicha ilmiy ma'lumotlar tahlil qilindi. Dalillar ikki guruhga ajratildi. Birinchi guruh Kimmerle anomaliyasining o'zida bajarilgan instrumental yoki elektrofiziologik tadqiqotlarni o'z ichiga oldi. Ikkinchi guruhga Kimmerle anomaliyasining klinik mexanizmiga yaqin bo'lgan umurtqa arteriyasining dinamik kompressiyasi, boshni aylantirish bilan bog'liq vertebro bazilyar yetishmovchilik hamda orqa qon aylanish havzasi ishemiyasi bo'yicha bajarilgan neyrofiziologik tadqiqotlar kiritildi. Ikkinchi guruhdagi ma'lumotlar Kimmerle anomaliyasiga to'g'ridan-to'g'ri ekstrapolyatsiya qilinmadi, balki patofiziologik va metodologik asos sifatida tahlil qilindi. Asosiy baholangan ko'rsatkichlar umurtqa arteriyasidagi maksimal sistolik oqim tezligi, diastola oxiridagi oqim tezligi, rezistentlik indeksi, pulsatsion indeks, orqa miya arteriyasi va bazilyar arteriyadagi o'rtacha qon oqimi tezligi, bosh holatiga bog'liq gemodinamik o'zgarishlar, BAEP bo'yicha I–III, III–V va I–V cho'qqilararo latentliklar, V to'lqin latentligi va amplitudasi, VEP bo'yicha P100 latentligi va to'lqin shaklining morfologiyasi, SSEP bo'yicha markaziy o'tkazilish vaqti, cVEMP/oVEMP latentligi va amplituda assimetriyasi, nistagm yo'nalishi, vHIT bo'yicha vestibulo-okulyar refleks koeffitsiyenti hamda klinik simptomlarning provokatsion test bilan vaqt jihatdan mos kelishidan iborat bo'ldi. Maqoladagi diagnostik jadvallar va taklif etilgan bosqichma-bosqich algoritm mavjud dalillar asosidagi mualliflik konseptual sintezi bo'lib, ular validatsiyalangan xalqaro Kimmerle anomaliyasi klassifikatsiyasi sifatida talqin qilinmasligi kerak.

Natijalar.

Dinamik dupleks ultratovush diagnostikasi. Bo'yin arteriyalarining dupleks ultratovush tekshiruvi Kimmerle anomaliyasida vertebral arteriya gemodinamikasini noinvaziv baholash uchun eng qulay boshlang'ich metodlardan biridir. Neytral holatda V1 va V2 segmentlarning diametri, spektral oqim profili, peak systolic velocity, end-diastolic velocity, pulsatility va resistance indeksleri baholanadi. Biroq Kimmerle anomaliyasining potensial kompressiya sohasi odatda V3 segmentga to'g'ri kelganligi sababli, faqat V2 segmentni neytral holatda tekshirish yetarli bo'lmasligi mumkin. Funksional protokolda bemor boshi neytral holatdan o'ng va chap rotatsiya, ekstensiya, fleksiyaga va zarur bo'lganda kombinatsiyalangan rotatsiya-ekstensiya pozitsiyalariga ehtiyotkorlik bilan o'tkaziladi. Dinamik kompressiya mavjud bo'lganda kompressiya zonasining o'zida yuqori tezlikli turbulent oqim, distal segmentda sistolik va diastolik tezlik pasayishi, resistance index o'zgarishi yoki og'ir holatda end-diastolic flow yo'qolishi kuzatilishi mumkin. Sinovning klinik ahamiyati gemodinamik o'zgarish simptom bilan bir vaqtda yuzaga kelganda oshadi. Masalan, boshni o'ng tomonga burishda bosh aylanishi va ko'z oldi xiralashishi paydo bo'lib, shu vaqtda dominant chap vertebral arteriyaning distal oqimi keskin kamayishi va neytral holatga qaytganda tiklanishi Kimmerle anomaliyasining klinik ahamiyatini faqat statik diametr o'zgarishiga nisbatan ancha kuchliroq qo'llab-quvvatlaydi.

Transkraniyal Doppler monitoring. TCD Kimmerle anomaliyasida faqat bo'yin darajasidagi lokal tomir o'zgarishini emas, uning butun vertebrobazilyar tizimga regional ta'sirini baholash imkonini beradi. Transforaminal yondashuv orqali umurtqa arteriyalarining V4 segmentlari va bazilyar arteriya, transtemporal akustik oyna orqali esa orqa miya arteriyasining P1 va P2 segmentlaridagi qon oqimi monitoring qilinishi mumkin. Eng katta diagnostik qiymat doimiy yoki ikki tomonlama monitoringda kuzatiladi. Bemorning boshi simptom chaqiruvchi holatga asta-sekin o'tkazilganda oqim tezligi real vaqt rejimida qayd qilinadi. Sog'lom odamlarda bosh rotatsiyasi oqim tezligining mo'tadil fiziologik pasayishiga olib kelishi mumkin. Shu sababli Kimmerle anomaliyasida faqat "oqim kamaydi" degan xulosa yetarli emas. Klinik jihatdan muhim signal sifatida keskin va reproduktiv oqim pasayishi, simptom bilan vaqt jihatdan mosligi, qarama-qarshi tomondagi kompensatsiya yetishmovchiligi va neytral holatga qaytgandan keyingi reaktiv giperemiya ko'proq ahamiyatga ega.

1-jadval. Kimmerle anomaliyasida Doppler diagnostikasining asosiy parametrlar

Parametr	Neytral holat	Provokatsion holatdagi patologik tendensiya	Klinik talqin
Umurtqa arteriyasidagi maksimal sistolik oqim tezligi (PSV)	Bazal ko'rsatkich	Lokal stenozda oshishi yoki distal kompressiyada pasayishi	Kompressiya darajasi va joylashuviga bog'liq
Diastola oxiridagi oqim tezligi (EDV)	Saqlangan	Keskin pasayishi yoki nolga yaqinlashishi	Og'ir distal qarshilik yoki okkluziyani ko'rsatishi mumkin
Rezistentlik indeksi (RI)	Bazal	Distal obstruksiyada oshishi mumkin	Periferik tomir qarshiligining ortishi
Bazilyar arteriyadagi o'rtacha qon oqimi tezligi	Barqaror	Pasayishi	Vertebrobazilyar havzada regional gemodinamik buzilishni ko'rsatadi
Orqa miya arteriyasining P1/P2 segmentlaridagi qon oqimi tezligi	Barqaror	Provokatsiya vaqtida takrorlanuvchi keskin pasayish	Orqa qon aylanish havzasida gipoperfuziya belgisi
Reaktiv giperemiya	Kuzatilmaydi	Bosh neytral holatga qaytarilganda paydo bo'lishi mumkin	Oldin yuz bergan vaqtinchalik gipoperfuziyaning bilvosita belgisi

Klinik simptomlar	Yo‘q	Bosh aylanishi, presinkopal holat, ko‘ruv buzilishlari	Gemodinamik o‘zgarishlar bilan vaqt jihatdan mos kelsa diagnostik ahamiyati yuqori
--------------------------	------	--	--

Miya ustunining eshituv chaqirilgan potentsiallari (BAEP). BAEP qisqa latensiyali eshituv chaqirilgan potentsiallari bo‘lib, eshituv nervidan miya ustunining pons va mezensefalik tuzilmalarigacha bo‘lgan o‘tkazuvchanlikni funksional baholaydi. Kimmerle anomaliyasida BAEPning maqsadi anomaliyaning o‘zini aniqlash emas, balki vertebro bazilyar hypoperfusion bilan mos keluvchi subklinik yoki klinik brainstem dysfunctionni aniqlashdir. Asosiy baholanadigan parametrlar I, III va V to‘lqinlar absolut latensiyasi, I–III, III–V va I–V interpeak intervals, V/I amplitude ratio va ikki tomonlama simmetriyadir. Miya ustuni perfuziyasi yetishmovchiligida V to‘lqin latensiyasining uzayishi, III–V yoki I–V interpeak latency oshishi, amplituda pasayishi yoki waveformning yomon reproduktivligi kuzatilishi mumkin. Biroq BAEP o‘zgarishi Kimmerle anomaliyasi uchun spetsifik emas. Demiyelinizatsiya, eshituv nervi patologiyasi, miya ustuni o‘smalari, boshqa vaskulyar kasalliklar va eshitish buzilishlari ham shunga o‘xshash o‘zgarishlarni keltirib chiqaradi. Shu sababli BAEPni mustaqil diagnostik mezon emas, Doppler va klinik topilmalarni qo‘llab-quvvatlovchi funksional biomarker sifatida ko‘rish maqsadga muvofiq.

Visual chaqirilgan potentsiallari (VEP). VEP Kimmerle anomaliyasida eng kam o‘rganilgan, ammo patofiziologik jihatdan qiziqarli testlardan biridir. Posterior cerebral arteries oksipital vizual korteksning asosiy arterial ta‘minotini ta‘minlaydi. Og‘ir vertebro bazilyar hemodinamik buzilish yoki posterior circulation reserve pasayishi vizual tizim funksiyasiga ta‘sir qilishi mumkin. Pattern-reversal VEPda P100 latensiyasi, amplitude va interocular asymmetry baholanadi. Flash VEP kooperatsiyasi cheklangan bemorlarda qo‘shimcha ma‘lumot berishi mumkin. Radiologik tasdiqlangan Kimmerle anomaliyasi mavjud kichik tarixiy kohortada VEP anomaliyalari yuqori ulushda aniqlangan. Biroq bu natijani diagnostik sezgirlik sifatida talqin qilish mumkin emas, chunki nazorat guruhi, bemor tanlovi va zamonaviy vaskulyar fenotiplash cheklangan edi. Hozirgi amaliyotda VEP fotopsiya, vaqtinchalik vizual xiralashish yoki bosh holatiga bog‘liq ko‘rish simptomlari mavjud bemorlarda qo‘shimcha test bo‘lishi mumkin.

Somatosensor chaqirilgan potentsiallar (SSEP). SSEP periferik nerv stimulyatsiyasidan keyin orqa ustun–medial lemniscus tizimi va somatosensor korteksgacha bo‘lgan o‘tkazuvchanlikni baholaydi. Vertebro bazilyar yetishmovchilikda miya ustuni darajasidagi o‘tkazuvchanlik buzilishi SSEP markaziy conduction time yoki komponentlar konfiguratsiyasida namoyon bo‘lishi mumkin. Ammo Kimmerle anomaliyasida SSEPning diagnostik qiymati bo‘yicha dalillar BAEP va TCDga nisbatan ancha zaif. SSEP qo‘l yoki oyoqlarda paresteziya, sezgi buzilishi, kraniovertebral junction stenosis, myelopathy yoki boshqa spinal pathology differensial diagnostikasi zarur bo‘lgan hollarda foydaliroq.

VEMP va vestibulyar testlar. cVEMP asosan saccule–inferior vestibular nerve–vestibulocollic reflex yoyini, oVEMP esa ko‘proq utricular–superior vestibular pathway funksiyasini aks ettiradi. Kimmerle anomaliyasiga xos VEMP pattern aniqlanmagan. Ammo vertebro bazilyar simptomli bemorda VEMP abnormality vestibulyar yo‘llarning funksional ishtirokini ko‘rsatishi mumkin. Video head impulse test yarim doira kanallari va vestibulo-ocular reflex gainni baholaydi. Videonistagmografiya esa spontan va pozitsion nistagmni hujjatlashtirib, markaziy va periferik vertigoni farqlashga yordam beradi. Rotatsion vertebral artery compressionida provokatsion bosh harakati bilan birga paydo bo‘ladigan downbeat yoki murakkab markaziy nistagm posterior circulation hypoperfusioga shubhani oshirishi mumkin.

2-jadval. Kimmerle anomaliyasida neyrofiziologik tekshiruvlarning klinik vazifasi

Test	Asosiy funksional tizim	Kimmerle anomaliyasida ehtimoliy roli	Dalil darajasi
Dinamik vertebral duplex	Lokal VA gemodinamikasi	V3/V2 kompressiyani skrining qilish	O‘rtacha–yuqori, mexanizmga yaqin

TCD	Regional posterior circulation	Provokatsion hypoperfusionni aniqlash	Eng kuchli funksional dalil
BAEP/ABR	Eshituv nervi-brainstem	Subklinik brainstem dysfunction	Qo'shimcha
VEP	Optik yo'l-oksipital korteks	Vizual simptomlarni obyektivlashtirish	Kimmerlega oid cheklangan bevosita dalil
SSEP	Somatosensor yo'llar	Brainstem/spinal conduction	Zaif qo'shimcha
cVEMP/oVEMP	Otolit-refleks tizimi	Vestibular pathway assessment	Bilvosita
vHIT	Vestibulo-ocular reflex	Periferik vestibular deficitni farqlash	Differensial diagnostika
VNG/ENG	Ko'z harakatlari/nistagm	Markaziy vs periferik vertigo	Muhim differensial test
EEG	Kortikal bioelektrik faoliyat	Sinkope differensial diagnostikasi	Kimmerlega spetsifik emas
EMG/blink reflex	Periferik/brainstem reflex	Tanlangan klinik fenotiplarda	Qo'shimcha

EEG va boshqa elektrofiziologik testlar. EEG Kimmerle anomaliyasining rutindagi diagnostik testi emas. Biroq bosh rotatsiyasiga bog'liq hushdan ketish holatlarida epileptik tutqanoq, konvulsiv sinkope va vertebro bazilyar presinkopeni differensial diagnostika qilish zarur bo'lishi mumkin. Oddiy yoki uzoq muddatli EEG epileptiform activity aniqlash uchun qo'llanishi mumkin, ammo normal EEG vertebro bazilyar hemodinamik sindromni tasdiqlamaydi ham, inkor etmaydi. Blink reflex, needle EMG va nerve conduction study ham Kimmerle anomaliyasi uchun spetsifik emas. Ular C1–C2 darajasidagi nerv tuzilmalarining siqilishi, radikulopatiya, periferik neyropatiya yoki boshqa differensial tashxis talab qiluvchi patologik holatlarga shubha bo'lganda qo'llanadi.

Muhokama. Kimmerle anomaliyasining neyrofiziologik diagnostikasidagi asosiy ilmiy muammo morfologik topilmaning keng tarqalganligi va klinik simptomlarning nospetsifikligidir. Meta-tahlillar ponticulus posticus populyatsiyada kam uchraydigan anomaliya emasligini ko'rsatadi [1, 2]. Xu va hammualliflar 113 ta adabiyot manbasini tahlil qilib, PP anatomiyasi, klinik ko'rinishlari va jarrohlik ahamiyatini umumlashtirgan [3]. Shu sababli morfologik anomaliya mavjud bo'lgan har qanday bosh aylanishi yoki bosh og'rig'ini avtomatik ravishda Kimmerle sindromi deb baholash diagnostik overdiagnosisga olib kelishi mumkin [1–4]. Polishchuk va hammualliflar [4], Hong va hammualliflar [5], Wakao va hammualliflar [6] va Gul hamda Atik [7] tomonidan taqdim etilgan anatomik va vaskulyar ma'lumotlar Kimmerle anomaliyasining klinik ta'siri individual ekanligini ko'rsatadi. V3 segment diametri, arterial dominantlik, qarama-qarshi vertebral arteriya gipoplaziyasi, posterior communicating arteries orqali collateral supply va bosh harakatida tomir deformatsiyasi kabi faktorlar bitta suyak ko'prigidan ko'ra gemodinamik natijaga kuchliroq ta'sir qilishi mumkin [4–7].

Lukianchikov va hammualliflarning ponticulus posticus va lateralis birgalikda mavjud bo'lgan simptomatik bemor haqidagi ishi [8] struktural va funksional dalillar o'rtasidagi bog'liqlikning klinik ahamiyatini yaxshi ko'rsatadi. Ushbu bemorda simptom bosh rotatsiyasi bilan reproduksiya qilingan va CTA V3 segmentning kinkingini ko'rsatgan. Shunga o'xshash klinik fenotipda neyrofiziologik testning vazifasi statik anatomiyani takrorlash emas, balki bosh pozitsiyasi bilan bog'liq vaqtinchalik funksional buzilishni qayd etishdir. Shu nuqtai nazardan TCD eng kuchli metodologik asosga ega. Sturzenegger va hammualliflar [9] bosh harakati vaqtida ikkala posterior cerebral artery oqimini bir vaqtning o'zida monitoring qilish orqali haqiqiy hemodinamik vertebro bazilyar ishemiyani nonspecific positional symptomsdan farqlash mumkinligini ko'rsatgan. Simptomatik bemorlarda oqim bazal darajaning o'rtacha taxminan beshdan bir qismigacha tushgan, neytral pozitsiyaga qaytganda esa reaktiv hyperemia paydo bo'lgan [9]. Biroq Rossiti va Volkmann

[10] hamda Simon va hammualliflar [11] sogʻlom subyektlarda ham bosh rotatsiyasi vertebro bazilyar oqimni maʼlum darajada kamaytirishini aniqlagan. Bu jihat juda muhim: provokatsion TCDda kichik tezlik pasayishini patologik deb hisoblash mumkin emas. Natija bemorning simptomlari, oqimdagi oʻzgarishning darajasi, reproduktivligi va kompensator collateral circulation bilan birgalikda talqin qilinishi kerak [9–11].

2025-yilda ishlab chiqilgan rotatsion vertebral artery syndrome uchun ekspert ultratovush algoritmi bu yondashuvni yanada standartlashtirdi [12]. Unda vertebral arteriyaning turli segmentlarini boshning bir necha holatida kuzatish, kompressiyadan oldingi, stenotik, post-stenotik va preokkluziv spektrlarni farqlash hamda regional ahamiyatni basilar yoki posterior cerebral artery oqimi orqali baholash tavsiya etiladi [12]. Kimmerle anomaliyasi V3 darajasidagi potensial suyak kompressiyasi boʻlganligi sababli ushbu algoritm unga patofiziologik jihatdan bevosita mos keladi, biroq maxsus Kimmerle kohortasida validatsiya talab etiladi.

Wu va hammualliflarning 2026-yilgi bilateral TCD ishlanmasi yana bir muhim metodologik qadamdir [13]. Ikkala PCA oqimini bir vaqtda monitoring qilish dominant vertebral artery kompressiyasi yoki collateral compensationning assimetrik taʼsirini aniqlashga yordam beradi. Uchta klinik VACS holatida bosh harakati bilan ikki tomonlama PCA flow keskin pasaygan va neytral pozitsiyaga qaytgach reaktiv giperemiya kuzatilgan [13]. Namuna kichik boʻlsa-da, usul real vaqt funksional diagnostikasi uchun istiqbolli. Rotational vertebral artery syndrome boʻyicha Rastogi va hammualliflarning sistematik sharhi [14], Cornelius va hammualliflarning kraniovertebral junction management algoritmi [15], Choi va hammualliflarning dynamic DSA systematic review [16] va zamonaviy klinik diagnostika tavsiflari [17] bir xil xulosaga olib keladi: statik imaging dinamik vaskulyar konfliktini toʻliq istisno qila olmaydi. TCD va duplex skrining uchun qulay, dynamic DSA esa anatomiya va simptomni bir vaqtning oʻzida tasdiqlovchi referens usul boʻlib qolmoqda [14–17]. Bu Kimmerle anomaliyasi uchun ham muhim prinsipdir.

Elektrofiziologik testlar ichida VEP Kimmerle anomaliyasining oʻzida bevosita oʻrganilgan kam sonli metodlardan biridir. Split, Sawrasewicz-Rybak va Sinczuk-Walczak 16 bemorda VEP abnormalityni taxminan 75% holatda qayd etgan [18]. Pattern-reversal stimulda latency disturbance, flash stimulda esa waveform configuration oʻzgarishi koʻproq kuzatilgan [18]. Ushbu natija qiziqarli, biroq uning metodologik cheklovlari katta: namuna kichik, zamonaviy posterior circulation imaging va dynamic hemodynamic phenotyping ishlatilmagan, nazoratli sababiylik baholash mavjud emas. Shu sababli VEPni Kimmerle anomaliyasi uchun “diagnostik test” emas, simptomatik vizual fenotipni obyektivlashtiruvchi qoʻshimcha metod sifatida talqin qilish toʻgʻriroq. BAEP boʻyicha dalillar koʻproq, ammo asosan vertebro bazilyar yetishmovchilikka oid. Maurer va hammualliflarning erta auditory evoked potential tadqiqoti [19] posterior circulation yetishmovchiligida auditory pathwayning cochlear nerve, medulla, pons va midbrain segmentlarida turli oʻzgarishlar kuzatilishi mumkinligini koʻrsatgan. Wangning 93 bemorli ishida BAEP abnormality yuqori ulushda aniqlangan [20]. Ushbu tarixiy tadqiqotlar metodologik jihatdan zamonaviy standartlardan farq qilsa-da, posterior circulation hypoperfusion brainstem electrophysiologyga taʼsir qilishi mumkinligini koʻrsatadi.

Živadinović, Stamenović va Ljubisavljević tomonidan bajarilgan Doppler–AEP korrelyatsion tadqiqoti bu masalada kuchliroq dalil beradi [21]. Vertebral artery oqimi koʻproq kamaygan bemorlarda auditory evoked potential anomaliyalari tez-tez aniqlangan. Demak, BAEP faqat “vertigo mavjudmi?” degan savolga emas, balki Doppler bilan aniqlangan gemodinamik buzilishning brainstem functional correlate mavjudligini baholashga yordam berishi mumkin [21]. Vertebral arteriyaning gemodinamik ahamiyatli aterostenozida BAEP oʻzgarishlarini oʻrgangan ishda I–V interpeak interval va V peak latency uzayishi qayd etilgan, revaskulyarizatsiyadan keyin ayrim koʻrsatkichlar yaxshilangan [22]. Bu Kimmerle anomaliyasi emas, biroq vertebral artery perfuziyasi yaxshilanishi bilan brainstem conduction parametrlarining oʻzgarishi mumkinligini koʻrsatadigan fiziologik modeldir. Mohamed va hammualliflarning [23] ABR, ENG va TCDni kombinatsiyalangan baholagan prospektiv tadqiqoti juda muhim metodologik xulosaga ega. VBI guruhida ENG, TCD va ABR patologik natijalari no-VBI guruhiga qaraganda koʻproq uchragan; kombinatsiyalangan test batareyasi esa alohida bitta testdan koʻra klinik differensial diagnostikaga

ko'proq yordam bergan [23]. Kimmerle anomaliyasida ham aynan shunday multimodal yondashuv maqsadga muvofiq.

Surunkali vertebrobazilyar yetishmovchilikda cerebral evoked potentialsni o'rgangan ishlar [24] va BAEP/SSEPni birgalikda baholagan tadqiqotlar [25] barcha evoked potential abnormalitylar yuqori sezgirlikka ega emasligini ko'rsatadi. Ayrim bemorlarda BAEP yoki SSEP normal bo'lishi mumkin, chunki hemodinamik buzilish transient, anatomik lokalizatsiya esa tegishli sensory pathwayni qamrab olmasligi mumkin. Shu sababli normal BAEP yoki SSEP klinik ahamiyatli dinamik vertebral artery compressionni inkor etmaydi [24, 25]. VEMPni talqin qilishda ham xuddi shunday ehtiyotkorlik kerak. Rosengren va hammualliflarning metodologik sharhi cVEMP va oVEMPning otolith organlari hamda vestibular pathways haqida qo'shimcha ma'lumot berishini ko'rsatadi [26]. AAN practice guideline [27] esa VEMPning ayrim spesifik vestibular kasalliklarda diagnostik qiymatini qo'llab-quvvatlasa-da, barcha dizziness sindromlarida universal diagnostik test ekanligini tasdiqlamaydi. Shu sababli Kimmerle anomaliyasida VEMP natijasi faqat vestibular phenotype doirasida talqin qilinishi kerak.

Vertebrobazilyar yetishmovchilik bilan Ménière kasalligini cVEMP va vHIT orqali taqqoslagan zamonaviy tadqiqot [28] periferik va vaskulyar vestibulyar simptomlarning funksional profili bir-biridan farqlanishi mumkinligini ko'rsatadi. Kimmerle anomaliyasida bosh aylanishi mavjud bo'lgan bemorlar uchun bu differensial yondashuv amaliy ahamiyatga ega: morfologik ponticulus posticus mavjudligi BPPV, Ménière kasalligi yoki vestibular migraine kabi keng tarqalgan sabablarni inkor etmaydi. Bilateral vestibulopathy bo'yicha Bárány Society kriteriyalari [29] va VEMPning klinik qo'llanilishiga oid kritik metodologik sharhlar [30] vestibular testlarning alohida emas, test batareyasi doirasida talqin qilinishi kerakligini ko'rsatadi. Kimmerle anomaliyasi bilan bosh aylanishi bo'lgan bemorda vHIT normal bo'lib, VNGda markaziy nistagm va dinamik TCDda posterior circulation flow pasayishi aniqlansa, vaskulyar mexanizm ehtimoli periferik vestibulopathyga nisbatan yuqoriroq bo'ladi. Aksincha, aniq BPPV pattern mavjud va TCD normal bo'lsa, ponticulus posticus incidental topilma bo'lishi mumkin.

Neyrofiziologik diagnostikaning yana bir muhim vazifasi jarrohlik natijasini obyektivlashtirishdir. Rotational vertebral artery syndrome bo'yicha adabiyotlarda MEP, SSEP va BAEP operatsiyadan oldin bazal neurophysiological statusni aniqlash va ayrim murakkab dekompressiya operatsiyalarida intraoperativ monitoring uchun qo'llanilishi mumkinligi ko'rsatilgan [17, 31]. C1–C2 kraniovertebral jarrohlikda spinal cord, corticospinal tract va brainstemga xavf mavjud bo'lsa, multimodal intraoperative neurophysiological monitoring qo'shimcha xavfsizlik vositasi bo'lishi mumkin [31, 32]. Bu jihat Kimmerle anomaliyasining jarrohlik dekompressiyasida ayniqsa muhim. Ponticulus posticus rezeksiya qilnayotganda V3 segment bevosita suyak ko'prigi ostida joylashadi. Neyrofiziologik monitoring arteriya shikastlanishini oldini olmaydi, ammo brainstem yoki corticospinal funksiyaning keskin o'zgarishini erta ko'rsatishi mumkin. Anatomik xavfsizlikning asosiy vositasi esa baribir preoperativ CTA, jarrohlik mikroskopi va to'g'ri anatomik identifikatsiyadir [5, 8, 31–33].

Kimmerle anomaliyasida sinkope bilan kelgan bemorlarda EEGning roli ko'proq differensial diagnostikdir. Rotatsion syncope yoki presyncope transient posterior circulation hypoperfusion bilan bog'liq bo'lishi mumkin, ammo epileptic seizure, cardiac syncope va orthostatic hypotension ham istisno qilinishi kerak. EEG anomaliyaning vaskulyar mexanizmini tasdiqlamaydi; uning qiymati epileptiform sababni aniqlash yoki chiqarib tashlashda [17, 34]. Shuningdek, cervicogenic dizziness tushunchasi o'ziga xos diagnostik qiyinchilik yaratadi. Cervical proprioceptive dysfunction vestibular va visual input bilan sensor mismatch hosil qilib, bosh aylanishini vertebral artery hypoperfusionsiz ham keltirib chiqarishi mumkin [17, 35]. Shuning uchun Kimmerle anomaliyasi va vertigo bo'lgan bemorda faqat provokatsion simptomning o'zi vaskulyar kompressiyani isbotlamaydi. Provokatsion simptom TCD/duplexdagi reproduktiv gemodinamik o'zgarish yoki dynamic angiographic confirmation bilan mos kelishi diagnostik aniqlikni sezilarli oshiradi [9, 12–17].

Klinik jihatdan Kimmerle anomaliyasini uchta funksional fenotipga ajratish maqsadga muvofiq ko'rinadi. Birinchi fenotip - tasodifiy morfologik variant bo'lib, bemorda pozitsion posterior circulation simptomlari va gemodinamik o'zgarishlar yo'q. Ikkinchi fenotip -

simptomatik, ammo hemodinamik tasdiqlanmagan holat bo'lib, differensial diagnostika davom ettirilishi kerak. Uchinchi fenotip - provokatsion simptom va dinamik gemodinamik o'zgarishlar bir-biriga mos keladigan klinik ahamiyatli neurovascular compression phenotype.

3-jadval. Taklif etilayotgan Kimmerle anomaliyasining funksional-nevrofiziologik fenotiplari

Fenotip	Klinik simptom	Dinamik TCD/duplex	Evoked potentials/vestibular test	Talqin
NF-0	Yo'q	Normal	Normal yoki tekshirilmagan	Incidental KA
NF-1	Nospetsifik bosh og'riq/vertigo	Normal	Nospetsifik o'zgarish mumkin	Sababiylik isbotlanmagan
NF-2	Pozitsion simptom	Chegaraviy o'zgarish	Qo'shimcha abnormality mumkin	Ehtimoliy funksional konflikt
NF-3	Reproduktiv pozitsion VBI simptom	Aniq flow reduction	BAEP/VEP/VNG qo'llab-quvvatlashi mumkin	Gemodinamik ahamiyatli KA
NF-4	Sinkope/TIA/posterior stroke	Dinamik og'ir stenoz/okkluziya	Markaziy dysfunction mumkin	Yuqori xavfli neurovascular phenotype

Mazkur tasnif validatsiyalangan xalqaro shkala emas va kelajakdagi prospektiv tadqiqotlar uchun konseptual model sifatida taklif qilinmoqda. Amaliy diagnostik nuqtai nazardan, barcha Kimmerle anomaliyasi aniqlangan bemorlarga keng neyrofiziologik panel buyurish maqsadga muvofiq emas. Bunday taktika yolg'on-musbat topilmalar sonini ko'paytirishi va incidental anatomik variantni kasallik sifatida ortiqcha tashxislash xavfini oshirishi mumkin. Neyrofiziologik diagnostika bemorning fenotipiga qarab tanlanishi kerak. Pozitsion vertigo yoki presyncope mavjud bo'lsa birinchi funksional test dinamik duplex/TCD bo'lishi maqsadga muvofiq. Tinnitus yoki brainstem auditory symptom bo'lsa BAEP qo'shilishi mumkin. Fotopsiya yoki vaqtinchalik ko'rish buzilishi bo'lsa VEP, vestibular symptoms dominant bo'lsa vHIT, VNG va tanlangan holatlarda VEMP foydali. Paresthesia, spinal cord symptom yoki kraniovertebral kompressiyaga shubha mavjud bo'lsa SSEP/MEP klinik savolga mos qo'llanadi.

4-jadval. Kimmerle anomaliyasida taklif etilayotgan bosqichma-bosqich neyrofiziologik diagnostika algoritmi

Klinik vaziyat	Birlamchi funksional tekshiruv	Qo'shimcha test	Keyingi bosqich
Simptomsiz KA	Neyrofiziologiya talab qilinmaydi	-	Klinik kuzatuv
Bosh aylanishi bosh harakatiga bog'liq	Dinamik duplex + TCD	VNG/vHIT	CTA/MRA, zaruratda dynamic DSA
Tinnitus/eshituv simptomlari	TCD + BAEP/ABR	Audiometriya	Vaskulyar imaging
Fotopsiya/vaqtinchalik vizual simptom	TCD	VEP	Posterior circulation imaging
Presinkope/sinkope	Dinamik TCD	EEG faqat differensial diagnostika uchun	Cardiac work-up + dynamic vascular imaging
Paresthesia/myelopathic symptom	SSEP ± MEP	EMG zaruratda	MRI CVJ

Jarrohlik rejalashtirilmogda	Bazal TCD/BAEP tanlangan holatda	MEP/SSEP intraoperativ monitoring	CTA + mikrojarrohlik planning
Operatsiyadan keyingi nazorat	Dinamik TCD	Oldin abnormal bo'lgan EPni takrorlash	Klinik va imaging follow-up

Kelajakdagi tadqiqotlar aynan multimodal diagnostika modelini prospektiv ravishda tekshirishi kerak. Eng informativ dizayn radiologik tasdiqlangan Kimmerle anomaliyasi mavjud simptomatik va simptomatsiz bemorlarni nazorat guruhi bilan taqqoslash, hammasida MSKT-A, bilateral dinamik TCD, standardized positional protocol, BAEP/VEP va tanlangan vestibular testlarni bajarishdan iborat bo'lishi mumkin. Bunday tadqiqotning asosiy endpointi alohida bitta testning abnormality rate emas, balki "clinical-neurophysiological concordance" bo'lishi kerak: provokatsion simptom + posterior circulation flow reduction + relevant neural pathway dysfunction. Shuningdek, jarrohlik dekompressiyasidan oldin va keyin TCD va evoked potential ko'rsatkichlarini solishtirish Kimmerle anomaliyasi bilan simptom o'rtasidagi sababiy munosabatni yanada kuchliroq tekshirish imkonini beradi.

Xulosa. Kimmerle anomaliyasida neyrofiziologik diagnostikaning asosiy vazifasi suyak ko'prigini aniqlash emas, balki uning vertebral arteriya va markaziy nerv tizimi funksiyasiga real ta'sirini obyektiv baholashdan iborat. Dinamik transkraniyal Doppler va vertebral arteriyalarni funksional dupleks monitoring qilish bosh holati bilan bog'liq vaqtinchalik vertebrobasilyar hypoperfusionni aniqlashda eng muhim funksional usullar hisoblanadi. Gemodinamik o'zgarishning klinik ahamiyati uning simptom bilan vaqt jihatdan mosligi, reproduktivligi, o'zgarish darajasi va posterior circulationning regional javobi bilan baholanishi kerak. BAEP miya ustuni eshituv o'tkazuvchanligini, VEP vizual yo'llar funksiyasini va SSEP somatosensor o'tkazuvchanlikni baholovchi qo'shimcha usullar bo'lib, ular Kimmerle anomaliyasining o'ziga xos diagnostik testlari emas. VEMP, vHIT va videonistagmografiya bosh aylanishi va muvozanat buzilishining periferik yoki markaziy mexanizmini differensial baholash uchun foydalidir. Normal neyrofiziologik test klinik ahamiyatli Kimmerle anomaliyasini mutlaq inkor etmaydi, xuddi bitta patologik evoked potential natijasi anomaliya sababiyatini isbotlamagani kabi. Eng asoslangan diagnostik model klinik simptomlarning pozitsion reproduktivligi, MSKT/MSKT-angiografiyada suyak-tomir anatomiyasi, dinamik TCD yoki dupleksda gemodinamik konflikt va tanlangan neyrofiziologik testlarda funksional disfunktsiyani birlashtiruvchi multimodal yondashuv hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. 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.
2. Pękala P. A., Henry B. M., Pękala J. R., et al. Prevalence of foramen arcuale and its clinical significance: a meta-analysis of 55,985 subjects. *Journal of Neurosurgery: Spine*. 2017.
3. Xu X., Zhu Y., Ding X., Yin M., Mo W., Ma J. Research progress of ponticulus posticus: a narrative literature review. *Frontiers in Surgery*. 2022;9:834551.
4. Polishchuk M., Muravskyi A. V., Honcharuk O., Vyval M. B. Kimmerle anomaly as a cause of extravasal compression of the vertebral artery. *Ukrainian Interventional Neuroradiology and Surgery*. 2022.
5. Hong J. T., Lee S. W., Son B. C., Sung J. H., Kim I. S., Park C. K. Analysis of anatomical variations of bone and vascular structures around the posterior atlantal arch using three-dimensional computed tomography angiography. *Journal of Neurosurgery: Spine*. 2008;8(3):230–236.
6. Wakao N., Takeuchi M., Nishimura M., et al. Vertebral artery variations and osseous anomaly at the C1–2 level diagnosed by 3D CT angiography in normal subjects. *Neuroradiology*. 2014;56:843–849.
7. Gul E., Atik I. Does ponticulus posticus affect vertebral artery diameter? *Surgical and Radiologic Anatomy*. 2024;46(9):1517–1524.

8. Lukianchikov V., Lvov I., Grin A., Kordonskiy A., Polunina N., Krylov V. Minimally invasive surgical treatment for vertebral artery compression in a patient with one-sided ponticulus posticus and ponticulus lateralis. *World Neurosurgery*. 2018;117:97–102.
9. Sturzenegger M., Newell D. W., Douville C., Byrd S., Schoonover K. D. Dynamic transcranial Doppler assessment of positional vertebrobasilar ischemia. *Stroke*. 1994;25:1776–1783.
10. Rossiti S., Volkmann R. Changes of blood flow velocity indicating mechanical compression of the vertebral arteries during rotation of the head in the normal human measured with transcranial Doppler sonography. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*. 1995;53(1):26–33.
11. Simon H., Niederkorn K., Horner S., Duft M., Schröckenfuchs M. Effect of head rotation on the vertebrobasilar system: a transcranial Doppler ultrasound contribution to physiology. *HNO*. 1994;42(10):614–618.
12. Chechetkin A. O., et al. Diagnostic ultrasound for rotational vertebral artery syndrome: indications, examination technique, diagnostic criteria, and algorithm. *Digital Diagnostics*. 2025;6(4):571–582.
13. Wu H., et al. Application of bilateral transcranial Doppler ultrasound in diagnosing vertebral artery compression syndrome. *BMC Neurology*. 2026.
14. Rastogi V., Rawls A., Moore O., et al. Rare etiology of Bow Hunter's syndrome and systematic review of literature. *Journal of Vascular and Interventional Neurology*. 2015;8(3):7–16.
15. Cornelius J. F., George B., N'Dri Oka D., Spiriev T., Steiger H. J., Hänggi D. Bow-hunter's syndrome caused by dynamic vertebral artery stenosis at the cranio-cervical junction: a management algorithm based on a systematic review and a clinical series. *Neurosurgical Review*. 2012;35:127–135.
16. Choi J. W., Qiao Y., Mehta T. I., et al. Safety and efficacy of dynamic catheter-directed cerebral digital subtraction angiography for diagnosis of bowhunter syndrome spectrum disorders: a systematic review of the literature. *Interventional Neuroradiology*. 2026;32(4):1615–1626.
17. Davis D. D., Kane S. M. Rotational Vertebral Artery Syndrome. *StatPearls*. Treasure Island: StatPearls Publishing; updated 2024–2026.
18. Split W., Sawrasewicz-Rybak M., Sinczuk-Walczak H. The picture of visual evoked potentials in Kimmerle anomaly. *Neurologia i Neurochirurgia Polska*. 1994;28(4):509–514.
19. Maurer K., Marneros A., Schäfer E., Leitner H. Early auditory evoked potentials in vertebral-basilar insufficiency. *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten*. 1979;227(4):367–376.
20. Wang Z. Study of brainstem auditory evoked potentials in patients with vertebrobasilar blood supply insufficiency. *Zhonghua Shen Jing Jing Shen Ke Za Zhi*. 1992;25(1):41–43.
21. Živadinović B., Stamenović J., Ljubisavljević S. The comparative analyses of the auditory evoked potentials and color Doppler sonography findings in patients diagnosed with vertebrobasilar insufficiency. *Neurological Research*. 2014;36(11):939–944.
22. Gnezditskii V. V., et al. Brainstem auditory evoked potentials in neurophysiological assessment of brain stem dysfunction in patients with atherostenosis of vertebral arteries. *Zhurnal Nevrologii i Psikhiatrii imeni S.S. Korsakova*. 2017.
23. Mohamed E. S., Kaf W. A., Rageh T. A., Kamel N. F., Elattar A. Evaluation of patients with vertigo of vertebrobasilar insufficiency origin using auditory brainstem response, electronystagmography, and transcranial Doppler. *International Journal of Audiology*. 2012;51(5):379–388.
24. Popa C., et al. Cerebral evoked potentials in chronic vertebrobasilar insufficiency. *Romanian Journal of Neurology and Psychiatry*. 1994.
25. Yoon S. M., Kim K. S., Yoo K. M. Brainstem auditory evoked potentials and median nerve somatosensory evoked potentials in vertebrobasilar insufficiency. *Kosin Medical Journal*. 1996;11(1):31–38.
26. Rosengren S. M., Colebatch J. G., Young A. S., Govender S., Welgampola M. S. Vestibular evoked myogenic potentials in practice: methods, pitfalls and clinical applications. *Clinical Neurophysiology Practice*. 2019;4:47–68.

27. Fife T. D., Colebatch J. G., Kerber K. A., et al. Practice guideline: cervical and ocular vestibular evoked myogenic potential testing. *Neurology*. 2017;89(22):2288–2296.
28. Karataş A., et al. Evaluating vertebrobasilar insufficiency and Ménière's disease: insights from cervical vestibular evoked myogenic potential and video head impulse test. *Journal of Vestibular Research*. 2024.
29. Strupp M., Kim J. S., Murofushi T., et al. Bilateral vestibulopathy: diagnostic criteria. Consensus document of the Classification Committee of the Bárány Society. *Journal of Vestibular Research*. 2017;27(4):177–189.
30. Długaiczek J., et al. Why and when to refer patients for vestibular evoked myogenic potentials: a critical review. *Clinical Neurophysiology*. 2019;130(9):1539–1556.
31. Wiedemayer H., Sandalcioglu I. E., Armbruster W., Regel J., Schaefer H., Stolke D. Motor evoked potentials and somatosensory evoked potentials in neurosurgical procedures at the craniocervical junction. *Acta Neurochirurgica*. 2002.
32. Nuwer M. R., Emerson R. G., Galloway G., et al. Evidence-based guideline update: intraoperative spinal monitoring with somatosensory and transcranial electrical motor evoked potentials. *Neurology*. 2012;78(8):585–589.
33. Young J. P., Young P. H., Ackermann M. J., Anderson P. A., Riew K. D. The ponticulus posticus: implications for screw insertion into the first cervical lateral mass. *Journal of Bone and Joint Surgery American*. 2005;87(11):2495–2498.
34. Brignole M., Moya A., de Lange F. J., et al. 2018 ESC Guidelines for the diagnosis and management of syncope. *European Heart Journal*. 2018;39(21):1883–1948.
35. Reiley A. S., Vickory F. M., Funderburg S. E., Cesario R. A., Clendaniel R. A. How to diagnose cervicogenic dizziness. *Archives of Physiotherapy*. 2017;7:12.
36. Koutsouraki E., Avdelidi E., Michmizos D., Kapsali S. E., Costa V., Baloyannis S. J. Kimmerle's anomaly as a possible causative factor of chronic tension-type headaches and neurosensory hearing loss: case report and literature review. *International Journal of Neuroscience*. 2010;120(3):236–239.