

ОГЛАВЛЕНИЕ

Участники издания	4
Оглавление	6
Список сокращений	9
Введение	10
Историческая справка	13
Глава 1. Анатомо-физиологические особенности слухового анализатора.	19
1.1. Анатомия слухового анализатора.	19
1.2. Физиология слухового анализатора.	25
1.3. Проводящие пути слухового анализатора.	26
1.4. Особенности детского возраста	33
Контрольные вопросы и задания	34
Глава 2. Слуховые вызванные потенциалы.	36
2.1. Основные требования к помещениям и подготовке пациентов для записи вызванных потенциалов	38
2.2. Коротколатентные слуховые вызванные потенциалы	56
2.2.1. Методика проведения коротколатентного слухового вызванного потенциала и интерпретация результатов	59
2.2.2. Диагностические сигналы	62
2.2.3. Проведение записи коротколатентного слухового вызванного потенциала и основные принципы интерпретации полученных результатов (воздушное звукопроводение)	78
2.2.4. Проведение записи коротколатентного слухового вызванного потенциала	

с костным телефоном и основные принципы интерпретации полученных результатов	100
2.2.5. Регистрация слуховых вызванных потенциалов в состоянии медикаментозного сна	105
2.3. Среднелатентные слуховые вызванные потенциалы	107
2.4. Длиннолатентные слуховые вызванные потенциалы	109
2.5. Стационарные слуховые вызванные потенциалы	113
2.6. Микрофонный потенциал улитки	122
2.7. Электрокохлеография	126
2.7.1. Методы регистрации электрокохлеографии.	130
2.7.2. Интерпретация результатов электрокохлеографии.	133
Контрольные вопросы и задания	145
Глава 3. Миогенные вызванные потенциалы	147
3.1. Шейные вестибулярные вызванные миогенные потенциалы	148
3.2. Глазные вестибулярные вызванные миогенные потенциалы	151
Контрольные вопросы и задания	156
Глава 4. Когнитивные вызванные потенциалы	157
4.1. Общие данные о когнитивных вызванных потенциалах	158
4.2. Методика записи когнитивных вызванных потенциалов.	161
Контрольные вопросы и задания	165

Заключение	166
Клинические примеры	167
Клинический пример № 1	167
Клинический пример № 2	170
Клинический пример № 3	172
Ситуационные задачи	175
Ситуационная задача 1	175
Ситуационная задача 2	175
Ситуационная задача 3	176
Ситуационная задача 4	177
Ситуационная задача 5	177
Тестовые задания	178
Эталонные ответы	183
Список использованной литературы	184



Данное учебное пособие посвящено светлой памяти профессора Александра Владимировича Старохи (8 июня 1947 года — 25 сентября 2023 года).

Известный российский оториноларинголог, заслуженный врач России, профессор, заведующий кафедрой оториноларингологии лечебного факультета СибГМУ (1998–2023 гг.), внесший существенный вклад в развитие отечественной медицинской науки и практики оториноларингологии. Талантливый хирург-новатор, опытный клиницист А.В. Староха, являясь заведующим кафедрой и главным внештатным оториноларингологом департамента здравоохранения, значительно укрепил материально-техническую базу и кадровый состав ЛОР-службы Томской области. Им подготовлены 25 кандидатов и 1 доктор медицинских наук. Впервые в России (Томск, 1980–1990 гг.) внедрил функциональную оптико-эндоскопическую ринохирургию и эндопротезирование дефектов лицевого черепа биоадаптивными имплантатами.

«А.В. Староха останется в нашей памяти ярким, глубоко порядочным, искренним и неравнодушным человеком, любящим жизнь и людей. Александр Владимирович трудился до самого конца, посвящая всего себя любимому делу. Светлая память о Вас и Вашем деле останется в наших сердцах», — Антон Сергеевич Мачалов.

ВВЕДЕНИЕ

По данным Всемирной организации здравоохранения, более 5% населения мира, или 430 млн человек (в том числе 34 млн детей), нуждаются в реабилитации для решения проблемы инвалидизирующей потери слуха [потеря слуха в лучше слышащем ухе, при которой среднее значение порогов слуха в речевом диапазоне превышает 35 децибел (дБ)]. Распространенность потери слуха повышается с возрастом: более 25% людей старше 60 лет страдают инвалидизирующей потерей слуха. Согласно прогнозам, к 2050 г. почти 2,5 млрд человек будут в той или иной степени страдать потерей слуха, а по меньшей мере 700 млн человек будут нуждаться в реабилитации в связи с нарушениями слуха [4].

По данным Минздрава России, основанным на статистической отчетности медицинских учреждений по обращаемости, распространенность двусторонней сенсоневральной тугоухости (СНТ) среди взрослого населения в возрасте 18 лет и старше в 2017 г. составила 490 на 100 000 человек соответствующего возраста, среди людей старшего трудоспособного возраста — 1094 на 100 000 [1, 17].

Слух является одним из наиболее развитых чувств человека, зависит от правильного функционирования слуховой системы и играет ключевую роль в социальном общении, интеграции и способности к обучению. В современном обществе нарушения слуха являются широко распространенной проблемой, причины которой весьма разнообразны [2, 27].

В практике врача-сурдолога используются субъективные (тональная пороговая аудиометрия, речевая аудиометрия, камертональные пробы) и объективные методы исследования слуха [акустическая импедансометрия, регистрация различных классов отоакустической эмиссии (ОАЭ), электрокохлеография (ЭКоГ) и регистрация слуховых вызванных потенциалов (СВП)]. На сегодняшний день регистрация СВП является одним из основных объективных методов исследования слуха и дает возможность неинвазивно оценить состояние проводящего пути слухового анализатора у пациентов различных возрастных групп.

Особо важную роль приобретает объективное определение порогов слуха у пациентов младшей возрастной группы, для которых диагностика нарушений слуховой функции является значимой с точки зрения социальной адаптации, а вопросы детской тугоухости остаются серьезной и важной медицинской, социальной, педагогической и экономической проблемой. В связи с этим результаты объективных методов оценки состояния слуховой функции являются основополагающими в определении дальнейших лечебных и реабилитационных мероприятий.

По данным некоторых авторов, с возрастом распространенность стойких нарушений слуха у детей увеличивается до 3–4 на 1000 детей [25, 45, 60]. В структуре врожденных нарушений слуха около 80–85% составляют случаи СНТ. Доля двусторонних нарушений слуха в структуре врожденной СНТ составляет 85–88% [53, 54]. Случаи приобретенной СНТ составляют лишь 11–12% [7, 13, 23, 59].

В настоящее время также одной из самых актуальных с медико-социальной точки зрения остается проблема когнитивных расстройств у взрослых и детей [6, 8, 9].

Согласно современным исследованиям, ранняя диагностика слуховых расстройств и последующая адекватная реабилитация, в том числе с применением современных технических устройств, способны предупредить нарушения речи у ребенка и развития других высших психических функций, а ранняя диагностика когнитивных нарушений позволяет своевременно назначить необходимое лечение и предотвратить развитие инвалидности у пациентов [14, 19, 20, 47].

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Исследования электрических реакций мозга на внешние стимулы проводились с первых попыток регистрации электроэнцефалограммы (ЭЭГ). В 1875 году впервые независимо друг от друга русский исследователь Василий Яковлевич Данилевский (1852–1939) и английский врач Ричард Кэтон (R. Caton) (1842–1926) сообщили о регистрации с помощью гальванометра слабых электрических токов мозга животных и обнаружили их изменения под влиянием сенсорной стимуляции. В период 1897–1912 гг. в лаборатории профессора В.М. Бехтерева была проведена серия выдающихся работ В.Е. Ларионова, А. Тривуса и П.Ю. Кауфмана (Ростовцева) по изучению электрической активности мозга и топки мозговых ответов на периферические раздражители (Ларионов, 1988; Тривус, 1900; Кауфман, 1912). Дальнейший прогресс в этой области был тесно связан с успехами электроники. Так, появление электронных усилителей и осциллографов позволило создать в 1930-е годы энцефалограф в том виде, в котором он стал применяться для диагностических исследований. Тогда же были предприняты первые попытки регистрации ВП. Однако, в отличие от клинической ЭЭГ, разработка методов ВП сопровождалась объективными трудностями, связанными с малой амплитудой ответов мозга на внешние раздражители и невозможностью выделения этих ответов из спонтанной активности ЭЭГ с помощью простого визуального анализа. Этим обусловлены более длительные сроки появления устройств для регистрации ВП и позднее внедрение этого метода в практическую медицину.

В 1938–1939 гг. американские врачи-аудиологи супруги Хэллоуэлл и Полин Дэвис опубликовали результаты регистрации СВП у человека во сне и в состоянии бодрствования с помощью электрофизиологического комплекса, состоявшего из генератора стимулов, усилителя ответов, осциллографа и фотокамеры. Этот комплекс давал изображение ВП путем фотоналожения участков ЭЭГ, связанных по времени со стимулом (Davis, 1938). Несовершенство такого способа выделения ВП не позволяло использовать его в диагностических целях. Дальнейшее развитие метода и создание его в современном виде связано с именем английского ученого Джорджа Доусона (George Duncan Dawson, 1912–1983), которого по праву называют отцом ВП.

Как описано в литературе, первым типом СВП стал микрофонный потенциал (МП). Потенциалы улитки впервые были зарегистрированы Glen Wever и Charles Bray (1930), которые провели эксперимент, заключавшийся в помещении электрода на слуховой нерв кошки и регистрации электрических потенциалов, вызванных акустическими стимулами. Эти потенциалы, которые воспроизводили форму звукового сигнала, были интерпретированы ими как исходящие от слухового нерва. Дальнейшие же исследования показали, что они генерируются в улитке, и их стали называть микрофонным потенциалом улитки (МПУ) (Adrian, 1931). Последующие исследования позволили зарегистрировать и установить происхождение нескольких типов СВП, самым малоизученным был суммационный потенциал, который впервые был описан Tasaki и соавт. в 1954 году. Первое измерение МП у людей было проведено в 1935 году.

До внедрения транстимпанальной техники проведения ЭКоГ с использованием игольчатого электрода (Lempert et al., 1950) регистрацию проводили от промоториума, или круглого окна, у пациентов с перфорацией барабанной перепонки, либо во время операции на ухе (Fromm et al., 1935, Perlman and Case, 1941). Внедрение транстимпанальной техники с использованием игольчатого электрода, размещенного на промоториуме, привело к предложению использовать ЭКоГ под общим наркозом для оценки порога слуха у детей, обследовать которых другими методами не представлялось возможным (Aran et al., 1971; Portmann and Aran, 1971). Но вскоре после появления возможности регистрации СВП, которые появились как надежный неинвазивный метод оценки порогов слуха, ЭКоГ была отложена в сторону. Однако выявление высокоамплитудного суммационного потенциала (SP) у пациентов с болезнью Меньера стимулировало включение ЭКоГ в стандартный протокол диагностики болезни Меньера (Yoshie, 1973, Eggermont, 1974). Еще одним фактором, который способствовал клинической популярности ЭКоГ, в частности, являлась разработка и усовершенствование неинвазивных методов записи [42].

Также в 30-е годы после открытия МП начинается исследование корковых (длиннолатентных) СВП (ДСВП), в 1939 г. P. Davis с коллегами впервые удалось зарегистрировать комплекс P_1 , N_1 , P_2 . В середине 60-х годов XX века H. Davis и S. Sutton впервые зарегистрировали когнитивный потенциал P300. С 1970 г. регистрация корковых СВП становится рутинным методом.

Первые записи среднелатентных слуховых вызванных потенциалов (ССВП) были зарегистрированы

в 1985 г. В настоящее время регистрация ССВП не нашла широкого применения в диагностическом перечне объективных тестов, и на сегодняшний день исследования в этой области продолжаются.

Первое упоминание о коротколатентных слуховых вызванных потенциалах (КСВП) появилось в 1967 г. в работе Н. Sohmer и М. Feinmesser. Важнейший прорыв в развитии этого направления произошел в начале 70-х годов, когда американский ученый Jewett и соавт. в 1970 г. показали возможность регистрации на поверхности головы ответов от отдаленных структур мозга, прежде всего слуховых стволовых ядер. Это открытие сразу привлекло внимание аудиологов, а позже и клинических нейрофизиологов, неврологов и нейрохирургов, поскольку оно позволяло неинвазивно получить информацию о функциональном состоянии глубоких стволовых структур мозга, была отмечена высокая клиническая ценность регистрации КСВП, в 1974 г. К. Несох и R. Galambos показали возможность использования КСВП для оценки порогов слуха у взрослых и детей; в 1975 г. была опубликована работа по регистрации КСВП у недоношенных детей при различных патологических процессах центральной нервной системы. Далее К. Robinson, P. Rudge применили регистрацию КСВП у больных с рассеянным склерозом.

Метод исследования КСВП получил значительное развитие и стал одним из наиболее информативных методов для оценки функционального состояния и мониторинга различных структур мозга в неврологии, нейрохирургии, педиатрии, отоневрологии, и на сегодняшний день методика регистрации КСВП считается

наиболее оптимальной с точки зрения диагностики нарушений слуховой функции за счет высокой чувствительности (100%) и специфичности (98%) [30].

Первые сообщения о стационарных СВП (ASSR, Auditory Steady State Response) появились в середине прошлого века (Geisler, 1960), однако эксперименты с амплитудной и частотной модуляцией стимула начались в 1980-х годах, когда R. Galambos и соавт. в 1981 году впервые детально описали данный метод. При обследовании взрослых пациентов с нормальным слухом были зарегистрированы слуховой ответ от ствола мозга и ответы средней латентности при предъявлении тональных стимулов 500 Гц, при этом количество стимулов за единицу времени варьировало от 3,3 до 55. Было показано, что при предъявлении стимулов количеством 40/с наблюдалось наложение положительных и отрицательных пиков ответа приблизительно каждые 25 мс в интервале в 100 мс в постстимульном окне. Ученые определили амплитуду ASSR как функцию интенсивности стимулов и показали, что для взрослых наибольшая амплитуда ответа отмечается при частоте 40 Гц. Таким образом, эти ответы первоначально были названы «40 Гц результат-зависимыми» (40Hz Event-related potential — ERP), впоследствии этот ответ был назван стационарным СВП. В результате проведения исследования в автоматизированном режиме формируется «компьютерная аудиограмма».

До 1990-х годов основное внимание при регистрации ВП уделялось слуховым и соматосенсорным системам. Однако было замечено, что громкие звуки [обычно >95 дБ УЗД (dB SPL)] могут вызывать миоген-

ные ответы в шейной мускулатуре. Эти реакции долгое время интерпретировались как неспецифические (или артефакты). Первое описание вестибулярных миогенных вызванных потенциалов (VEMP, Vestibular Evoked Myogenic Potentials) появилось в 1992 г. (Colebatch и Halmagyi). Авторы зарегистрировали миогенный потенциал в грудино-ключично-сосцевидной мышце, вызванный акустической стимуляцией [cVEMP (cervical VEMP)]. В 2007 г. описан новый тип ВП — oVEMP (ocular VEMP), регистрируемый с наружной глазной мышцы (*m. inferior obliquus*), который отражает преимущественно активность утрикулуса и верхнего преддверного нерва [57].

Глава 3

МИОГЕННЫЕ ВЫЗВАННЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ

Миогенные вызванные потенциалы — это биоэлектрические ответы, регистрируемые с периферических мышц в ответ на стимуляцию сенсорных рецепторов или вестибулярных структур. Они отражают рефлекторную двигательную активность, опосредованную многоуровневыми нейрональными путями, включая ствол мозга и спинной мозг. В контексте клинической нейрофизиологии чаще всего термин используется по отношению к VEMP. VEMP — это метод регистрации миогенных ответов, регистрируемых с поверхности мышц электромиографической системой, вызванных стимуляцией вестибулярных структур (саккулос, утрикулос), акустической, вибрационной или электрической стимуляцией. Таким образом, данный метод позволяет оценить функциональное состояние вестибулярной системы через анализ мышечных ответов. Метод основан на регистрации рефлекса, который начинается в сферическом мешочке (саккулюсе), далее передается по нижней ветви вестибулярного нерва и по нисходящим вестибулоспинальным путям, иннервирующим мышцы шеи и позвоночного столба.

Различают два основных типа VEMP.

3.1. ШЕЙНЫЕ ВЕСТИБУЛЯРНЫЕ ВЫЗВАННЫЕ МИОГЕННЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ

Регистрируются с грудино-ключично-сосцевидной мышцы.

Оценивают функцию саккулюса и саккуло-спинального рефлекса; основной метод для диагностики нарушений периферической вестибулярной системы.

Основные компоненты: P13 (положительная волна ~13 мс), N23 (отрицательная волна ~23 мс).

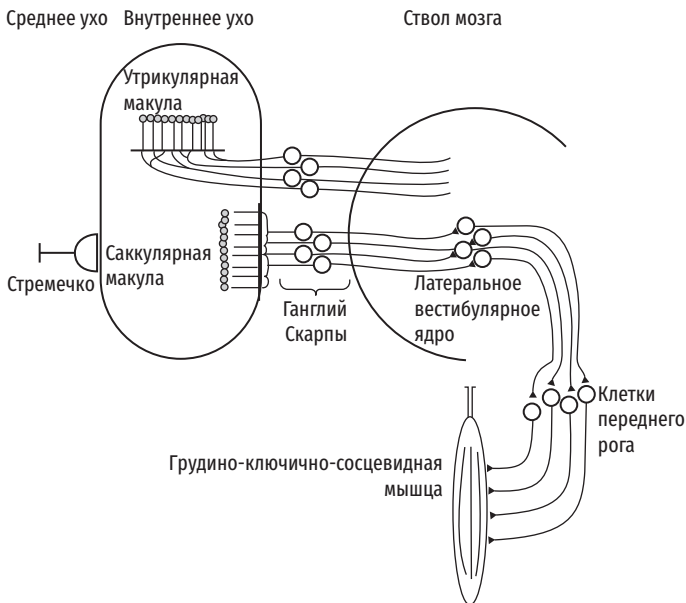


Рис. 3.1. Саккуло-шейный рефлекс [10]

Громкий звук вызывает движение стремечка, активирующее рецепторы в подлежащей саккулярной макуле. Через вестибулоспинальный тракт происходит активация ипсилатерального С2-сегмента клеток в переднем роге спинного мозга, которые активируют грудино-ключично-сосцевидную мышцу (**рис. 3.1**).

МЕТОДИКА РЕГИСТРАЦИИ ШЕЙНОГО ВЕСТИБУЛЯРНОГО ВЫЗВАННОГО МИОГЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА

Пациент находится в положении сидя или лежа, грудино-ключично-сосцевидная мышца должна быть слегка напряжена (например, пациент слегка поворачивает голову или приподнимает голову). Расположение электродов: активный электрод — над грудиной или ключицей. Референсный электрод — на грудино-ключично-сосцевидной мышце. Заземляющий электрод — посередине лба на границе роста волос (**рис. 3.2, а, б**).



Рис. 3.2. а — расположение электродов при записи шейных вестибулярных вызванных миогенных потенциалов (из архива авторов)

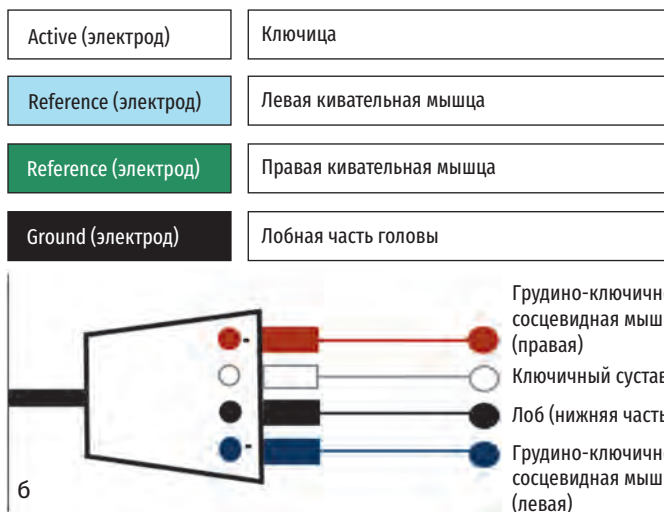


Рис. 3.2. Окончание. б — расположение электродов при записи шейных вестибулярных вызванных миогенных потенциалов (из архива авторов)

Используются стимулы: короткие звуки (шелчки или тоны) или механическая вибрация. Частота стимуляции: обычно 500–1000 Гц. Интенсивность: 90–100 дБ nHL.

На **рис. 3.3** изображен пример регистрации сVEMP, где зарегистрированы два основных компонента: пик P13 (положительный пик через 13 мс) и пик N23 (отрицательный пик через 23 мс). Отклики регистрируются на стороне, противоположной стимуляции.

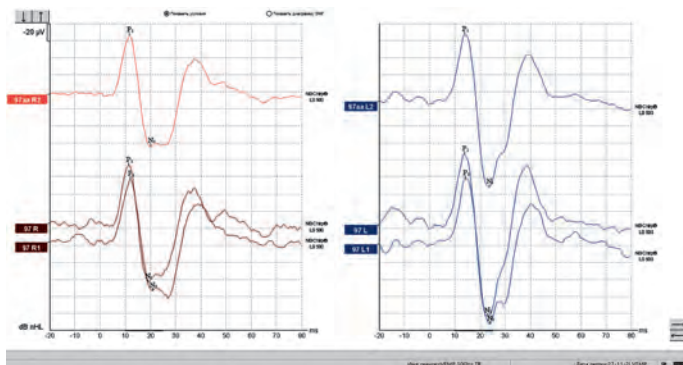


Рис. 3.3. Пример регистрации шейных вестибулярных вызванных миогенных потенциалов (из архива авторов)

3.2. ГЛАЗНЫЕ ВЕСТИБУЛЯРНЫЕ ВЫЗВАННЫЕ МИОГЕННЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ

Регистрируются с нижней косой мышцей глаза.

Оценивают функцию утрикулюса и утрикуло-окулярного рефлекса, используются для выявления центральных и периферических нарушений.

Основные компоненты: N10 (~10 мс), P15 (~15 мс).

oVEMP отражают контралатеральный вестибуло-окулярный рефлекс (рис. 3.4). Резкий звуковой и вибрационный стимул активирует изолированную группу отолитовых рецепторов и афферентных волокон с нерегулярной импульсацией. Анатомически верхний вестибулярный нерв содержит в себе афферентные волокна, осуществляющие иннервацию всего утрикулюса, и небольшое количество волокон от передней части

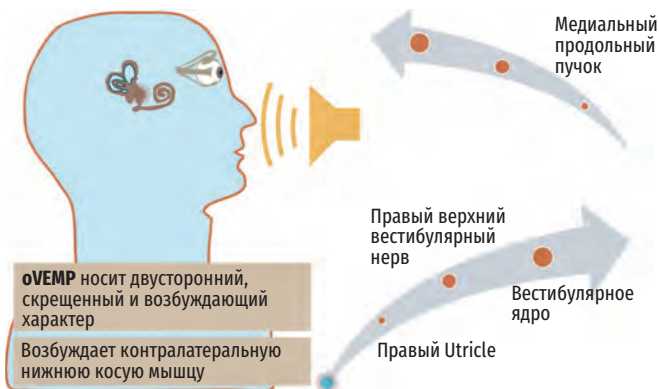


Рис. 3.4. Утрикуло-окулярный рефлекс (источник: <https://www.interacoustics.com/academy/evoked-potentials/vemp/vestibular-evoked-myogenic-potentials>)

саккулюса, однако связи с саккулюсом слабые, поэтому регистрацию oVEMP принято считать тестом для изолированной оценки функции утрикулюса.

VEMP являются современным точным и неинвазивным методом исследования работы вестибулярной системы, которая играет ключевую роль в поддержании равновесия, пространственной ориентации и координации движений; диагностика ее нарушений является важной задачей в медицине, особенно в области сурдологии и отоневрологии.

Основные области применения:

- ▶ оценка нижней части вестибулярного нерва;
- ▶ вестибулярные невриты;
- ▶ болезнь Меньера;
- ▶ двусторонние вестибулопатии;

- ▶ дегисценция верхнего полукружного канала (синдром Минора);
- ▶ вестибулярная шваннома;
- ▶ центральные нарушения демиелинизирующего типа (например, рассеянный склероз);
- ▶ оценка верхней части вестибулярного нерва.

МЕТОДИКА РЕГИСТРАЦИИ ГЛАЗНОГО ВЕСТИБУЛЯРНОГО ВЫЗВАННОГО МИОГЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА

Пациент в положении сидя или лежа. Глаза направлены вверх (для активации нижней косой мышцы глаза). Направление взора под углом $35\text{--}45^\circ$. Активный электрод: подбородок. Референсный электрод: наружный край глаза справа и слева. Под нижним веком, ближе к нижней косой мышце глаза. Заземляющий электрод: посередине лба на границе роста волос (рис. 3.5, а, б).



Рис. 3.5. а — расположение электродов при записи глазного вестибулярного вызванного миогенного потенциала (из архива авторов)

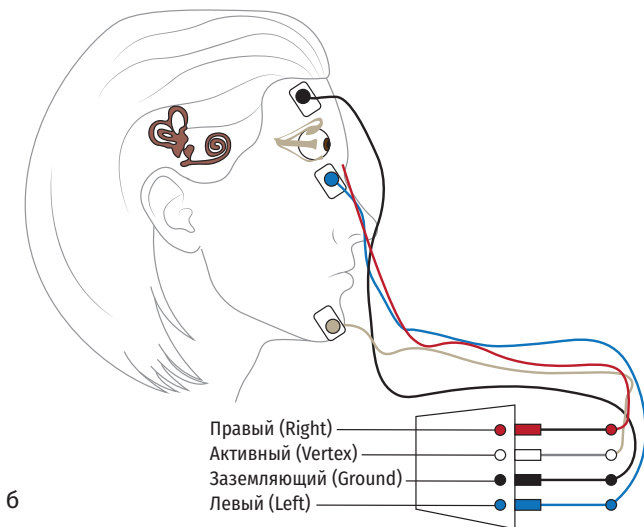


Рис. 3.5. Окончание. 6 — расположение электродов при записи глазного вестибулярного вызванного миогенного потенциала (источник: <https://www.interacoustics.com/academy/evoked-potentials/vemp/vestibular-evoked-myogenic-potentials>)

- ▶ Стимулы: короткие звуки или механическая вибрация.
- ▶ Частота стимуляции: обычно 500–1000 Гц.
- ▶ Интенсивность: 90–100 дБ nHL.

На **рис. 3.6** изображен пример регистрации oVEMP, где зарегистрированы два основных компонента: пик N10 (отрицательный пик через 10 мс) и пик P15 (положительный пик через 15 мс). Отклики регистрируются с противоположной стороны от стимуляции. При неверном размещении электродов, слишком низкой или высокой активности целевых мышц, при наличии большого

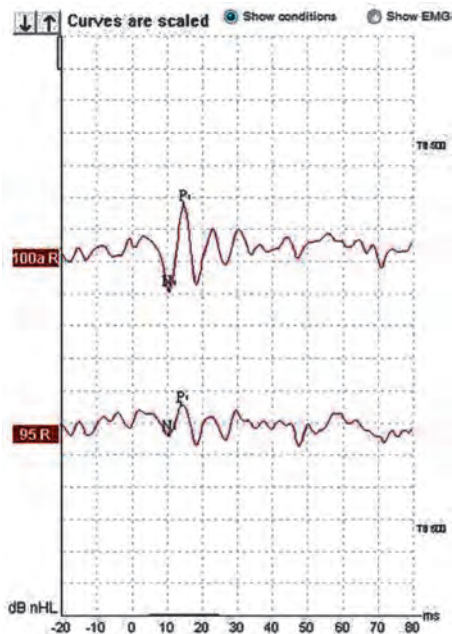


Рис. 3.6. Пример регистрации глазного вестибулярного вызванного миогенного потенциала (из архива авторов)

количества внешних шумов (например, при движении пациента) могут регистрироваться артефакты.

При интерпретации результатов VEMP следует обратить внимание на следующие показатели.

Нормальная латентность:

- ▶ пики P13/N23 (для cVEMP) и N10/P15 (для oVEMP) в пределах указанных нормальных значений свидетельствуют о нормальной проводимости сигналов.

Увеличение латентности может быть связано с центральными нарушениями (например, демиелинизирующие заболевания, инсульты), возрастными изменениями, особенно после 50–60 лет.

Уменьшение латентности может наблюдаться при гипервозбудимости рефлексов (например, при синдроме супериорного канала).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Дайте характеристику миогенных вызванных потенциалов.
2. Перечислите основные типы VEMP.
3. Назовите основные компоненты цервикальных VEMP (cVEMP).
4. Перечислите мышцы, с которых регистрируются шейные VEMP.
5. Опишите основные области применения регистрации VEMP.
6. Опишите месторасположение электродов при регистрации шейных VEMP.
7. Назовите мышцы, с которых происходит регистрация глазных VEMP.
8. Назовите схему монтажа электродов при записи глазных VEMP.
9. Обозначьте причину увеличения латентности V пика при записи VEMP.
10. Опишите стимул, используемый при записи VEMP.