# ИНВАЗИВНАЯ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИЯ В предхирургической диагностике эпилепсии

1. **ВВОДНАЯ ЧАСТЬ**
   1. **Код(ы) МКБ-10**

|  |  |
| --- | --- |
| **Код** | **Название** |
| G40 | Эпилепсия |
| G40.0 | Локализованная (фокальная) (парциальная) идиопатическая эпилепсия и эпилептические синдромы с судорожными припадками с фокальным началом |
| G40.1 | Локализованная (фокальная) (парциальная) симптоматическая эпилепсия и эпилептические синдромы с простыми парциальными припадками |
| G40.2 | Локализованная (фокальная) (парциальная) симптоматическая эпилепсия и эпилептические синдромы с комплексными парциальными судорожными припадками |
| G40.3 | Генерализованная идиопатическая эпилепсия и эпилептические синдромы |
| G40.4 | Другие виды генерализованной эпилепсии и эпилептических синдромов |
| G40.8 | Другие уточненные формы эпилепсии |

* 1. **Дата разработки и пересмотра протокола:** 2024 год.
  2. **Сокращения, используемые в протоколе:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ЭЭГ | – | электроэнцефалография |
| МРТ | – | магнитно-резонансная томография |
| КТ | – | компьютерная томография |
| ИЭЭГ | – | инвазивная электроэнцефалография |
| СЭЭГ | – | стереоэлектроэнцефалография |
| СДЭЭГ | – | субдуральная электроэнцефалография |
| ГЭ | – | глубинные электроды |
| СЭ | – | субдуральные электроды |
| ЭЗ | – | эпилептогенная зона |
| РЧТК | – | радиочастотная термокоагуляция |

* 1. **Пользователи протокола:** нейрохирурги, неврологи.
  2. **Категория пациентов:**

Пациенты с фармакорезистентными формами эпилепсии, которым требуется точное определение эпилептогенной зоны (ЭЗ) [3], устранение расхождений неинвазивных данных, точное отображение функций значимой близлежащей коры, дальнейшее подтверждение ЭЗ или предоставление информации, имеющей прогностическую ценность, для последующего избирательного удаления активной области с помощью термокоагуляции [1-5].

* 1. **Определение**:

Инвазивная электроэнцефалография (ИЭЭГ) может быть определена как запись электроэнцефалографии (ЭЭГ) с использованием интракраниальных электродов, установленных хирургическим путем. В большинстве случаев применяются глубинные и субдуральные электроды, имплантируемые раздельно или в комбинации с помощью стереотаксических или роботизированных систем [1, 2]. Технология применима как у взрослых, так и у пациентов детского возраста [6-12]. Стратегию резекции часто можно определить с помощью неинвазивных диагностических методов, но для некоторых пациентов может потребоваться дополнительная информация, которую можно получить только при ИЭЭГ [1, 2, 4, 5].

***Субдуральные электроды (СЭ).*** Выполнены в виде дисков диаметром 4-5 мм, расположенных на расстоянии 5-10 мм друг от друга между центрами. Они заключены в силиконовые полоски (4-8 контактов, стрипы) или прямоугольные сетки (20-128 контактов, гриды). Специальные формы для межполушарного размещения [1, 2].

***Глубинные электроды (ГЭ).*** Выполнены в виде цепочек последовательных цилиндрических контактов (от 4 до 18), расположенных на расстоянии 2-10 мм друг от друга, диаметром не более 1 мм, площадью записи 3-5 мм2. Электроды могут быть либо гибкими с выдвижным жестким стилетом, используемым для введения, либо полужесткими [1, 2, 5]. Метод регистрации ЭЭГ из глубинных электродов называется стереоэлектроэнцефалография (СЭЭГ). Таким образом, в зависимости от случая и задач (Таблица 1) применяются три вариации имплантации: 1) только ГЭ [4, 5, 13, 14, 15, 16]; 2) только СЭ (стрипы или гриды) [1, 2, 17, 18]; 3) комбинация глубинных и субдуральных электродов [1, 2, 19]. Электроды могут быть имплантированы как в одно полушарие, так и билатерально [20, 21, 22].

Таблица 1. Сравнение преимуществ и недостатков между СЭЭГ и СДЭЭГ [1, 4]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Преимущества** | **СЭЭГ** | **СДЭЭГ** |
| 1. Глубокие эпилептогенные зоны;  2. Широкий охват, включая оба полушария;  3. Точное расположение электродов;  4. Малоинвазивная хирургия, включая повторные операции;  5. Применимо в качестве терапевтических устройств;  6. Достаточное время для интерпретации перед операцией. | 1. Дети раннего возраста и младенцы <2–3 лет;  2. Функциональное картирование;  3. Обширность охвата хирургических границ;  4. Обширность охвата значимой коры. |
| **Недостатки** | 1. Плохое функциональное картирование;  2. Плохие корковые разряды;  3. Менее осуществимо для маленьких детей и младенцев, <2–3 лет;  4. Более сложный рабочий процесс. | 1. Потеря глубинно расположенных эпилептогенных очагов;  2. Слабость к двусторонним поражениям или двусторонняя эпилепсия;  3. Одновременная запись и интерпретация перед операцией. |

* 1. **Клиническая классификация**

Имплантация инвазивных (интракраниальных) глубинных и субдуральных электродов ограничена одной анатомической областью – большими полушариями головного мозга.

1. **МЕТОДЫ, ПОДХОДЫ И ПРОЦЕДУРЫ ДИАГНОСТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ**

**2.1 Цель проведения процедуры/вмешательства:**

Конечная цель или итог ИЭЭГ исследования заключается в следующем [1]:

* Пространственное определение ЭЗ;
* Резекция всей ЭЗ;
* Ограниченная резекция или радиочастотная термокоагуляция ЭЗ для сохранения значимой коры и минимизации послеоперационного дефицита;
* Решение полностью отказаться от резекции, если не выявлен четкий очаг или риск дефицита считается слишком высоким;
* Реимплантация с использованием того же или другого метода ИКЭЭГ или последующая другая хирургия (каллозотомия, стимуляция вагуса) для дальнейшего прояснения неоднозначности исходной имплантации.

**2.2 Противопоказания к процедуре/вмешательству** [1, 2, 5]**:**

* Соматическая патология в стадии декомпенсации;
* Выраженные психические нарушения;
* Сепсис;
* Коагулопатии, в том числе ДВС-синдром;
* Беременность;
* Инфекционное поражение области головы;
* Толщина кости черепа менее 2 мм в зоне имплантации ГЭ [2].

**2.3 Показания к проведению процедуры/вмешательства** [1, 2, 4, 5, 7, 19]**:**

* **Точное определение ЭЗ при неубедительных неинвазивных данных**

*Клинические сценарии:*

Распространенные сценарии включают быстро «генерализованные» припадки, такие как те, которые наблюдаются в раннем детстве, дифференциацию регионарного и долевого или мультилобарного вовлечения (например, височная и височная плюс эпилепсия), определение стороны мезиального височного начала, мезиальное или неокортикальное височное вовлечение, «двойная» патология височной доли, определяющая глубокие или межполушарные корковые источники, особенно те, которые связаны со скрытой дисплазией, не выявляемой при МРТ.

* **Устранение расхождений неинвазивных данных, указывающих на два или более региона**

*Клинические сценарии:*

Дивергенция не является редкостью; сценарии, особенно склонные включать билатеральные мезиальные височные очаги, крупные поражения, такие как энцефаломаляция, множественные поражения, такие как туберозный склероз или узловая гетеротопия.

* **Точное отображение функций значимой близлежащей коры**

*Клинические сценарии:*

ЭЗ, вторгающаяся или вовлекающая значимую кору. В отличие от приобретенных опухолей или ранних приобретенных атрофических/глиотических поражений, которые имеют тенденцию к смещению функции, субстраты развития часто сохраняют значимую функцию и могут проявляться атипичной представленностью.

* **Вторичные показания**

*Клинические сценарии:*

Для дальнейшего подтверждения ЭЗ или предоставления информации, имеющей прогностическую ценность, необходимо избирательно удалить активные области с помощью термокоагуляции.

**2.5 Перечень основных и дополнительных диагностических мероприятий:**

**Основные (обязательные) диагностические мероприятия:**

* Общий анализ крови;
* Общий анализ мочи;
* Биохимический анализ крови;
* Коагулограмма;
* Группа крови и резус фактор;
* Анализ крови на ВИЧ;
* Анализ крови на маркеры гепатитов В и С;
* Электрокардиография;
* КТ легких;
* ЭЭГ;
* МРТ головного мозга.

**Дополнительные диагностические мероприятия по показаниям:**

* КТ головного мозга;
* Фиброгастродуоденоскопия;
* Эхокардиография;
* Консультация нейропсихолога;
* Консультация профильного специалиста при наличии сопутствующей патологии.

**2.6 Требования к проведению процедуры и вмешательства:**

**Условия для проведения (соблюдение мер безопасности, санитарно-противоэпидемический режим):**

Процедуру необходимо проводить с соблюдением мер безопасности и противоэпидемического режима в соответствии с:

* Приказом Министра здравоохранения Республики Казахстан от 11 августа 2020 года № ҚР ДСМ-96/2020 «Санитарно-эпидемиологические требования к объектам здравоохранения»;
* Приказом Министра здравоохранения Республики Казахстан от 2 августа 2022 года № ҚР ДСМ-71 «Об утверждении гигиенических нормативов к обеспечению радиационной безопасности». Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 3 августа 2022 года № 29012.
* Решение о выполнении инвазивной электроэнцефалографии у пациентов с фармакорезистентными формами эпилепсии (прошедшими неинвазивную диагностику эпилепсии) должно приниматься совместно командой специалистов, включающей невролога, нейрохирурга, радиолога [1, 2];
* Имплантация глубинных (стереотаксических) электродов должна выполняться с использованием стереотаксической [32, 33] или роботизированной [34, 35, 36, 37, 38, 39] систем с применением программного обеспечения для планирования траектории и позиции каждого электрода [40];
* Имплантация субдуральных (полосковые или сетчатые) электродов должна выполняться с использованием навигационной системы для планирования локации каждого электрода [14, 17, 19];
* После процедуры имплантации глубинных и субдуральных электродов длительная (обычно до 2 недель) регистрация электроэнцефалографии должна проводиться в отдельно выделенной палате, оснащенной многоканальным видеоэлектроэнцефалографом [1, 40].

**Требование к оснащению, расходным материалам, медикаментам**:

* Глубинные электроэнцефалографические электроды;
* Субдуральные электроэнцефалографические электроды;
* Стереотаксическая или роботизированная системы;
* Нейронавигационная система;
* Программное обеспечение для планирования имплантации электродов;
* Многоканальный электроэнцефалограф;
* Магнитно-резонансный томограф;
* Компьютерный томограф;
* Генератор радиочастотной термокоагуляции.

**Требования к подготовке пациента** [1, 2, 40]**:**

Основные:

• Направление профильного специалиста, рекомендуется наличие амбулаторной карты/истории болезни в электронном или печатном формате с клиническими данными, включающими результаты предыдущих исследований, если они выполнялись.

• Информирование пациента или его официального представителя о ходе выполнения процедуры и о возможных осложнениях с обязательным двусторонним подписанием пациентом или его официальным представителем и врачом информированного добровольного согласия пациента на выполнение процедуры, в том числе с анестезиологическим пособием.

• Подробное обучение пациентов (например, цели послеоперационного обезболивания, упражнения для функции легких, пероральный прием пищи, передвижение с имплантированными электродами, положения тела и головы).

• Предварительная оценка общего анализа крови и показателей свёртываемости крови (времени свёртывания/ коагулограммы) в целях минимизации рисков развития кровотечения, в том числе в случаях, когда имеется высокая вероятность изменений гемостаза (у пациентов, принимающих антикоагулянты) когда планируется выполнение множественной биопсии.

• Рекомендуется отказ от приёма пищи не менее чем за 6 часов, отказ от курения минимум за 24 часа до процедуры в целях исключения регургитации и возможности применения анестезиологического пособия.

• Рекомендуется соблюдение режима внутривенного введения жидкости в соответствии с гемодинамикой и диурезом.

• Соответственно оценке послеоперационная анальгетическая, антибактериальная, антитромботическая терапии;

• Ранняя послеоперационная мобилизация.

Дополнительные:

• Сбор информации о дыхательной системе пациента (наличие травматических повреждений, хирургических вмешательств, онкологических заболеваний дыхательных путей, лучевой терапии или других локализованных состояний).

• Результаты лабораторных исследований (биохимический анализ крови, тестирование на ВИЧ, гепатиты, сифилис).

**Методика проведения процедуры/вмешательства** [1, 2, 19, 41, 42, 43, 44, 45]**:**

* Крайне необходимо предоставить пациенту ясную, честную и соответствующую информацию, получить информированное согласие пациента на инвазивное исследование и возможную последующую резекцию, термокоагуляцию.
* Имплантация глубинных и субдуральных электродов проводится под общей анестезией.
* Профилактическое лечение антибиотиками должно проводиться в соответствии с действующим протоколом клиники.
* Необходимо выполнить визуализацию сосудов, чтобы минимизировать риск периоперационного кровотечения. Визуализацию сосудов можно выполнить с помощью ангио-МРТ, КТ-ангиографии или МР-сканирования с контрастным усилением. Визуализацию сосудов можно выполнить за несколько дней до или в день имплантации.
* МРТ – это эталонная процедура морфологической визуализации, используемая для расчета нацеливания и траектории. МРТ можно выполнить за несколько дней до или в день имплантации.
* Количество, вариации и расположение имплантируемых электродов, размер и форма краниотомии определяются командой из невролога(ов) и нейрохирурга(ов).
* Прицеливание и расчет траектории выполняются с помощью любого подходящего программного обеспечения, имеющегося в центре.
* Имплантация ГЭ выполняется путем применения стереотаксической или роботизированной систем, СЭ имплантируются с помощью нейронавигационной системы.
* Для определения ЭЗ чаще всего используются ГЭ, в некоторых случаях применяются только СЭ, и иногда их комбинация.
* Принято считать, что минимально допустимая толщина кости черепа для фиксации ГЭ составляет 2 мм.
* После имплантации каждый электрод должен быть четко обозначен, и защищен с помощью повязки.
* Тщательный клинический мониторинг пробуждения после анестезии и немедленного послеоперационного неврологического статуса должны быть выполнены.
* Если замечен какой-либо новый неврологический дефицит, нейровизуализация должна быть немедленно выполнена, состоящее как минимум из КТ и, если возможно МРТ, чтобы иметь возможность немедленно повторно прооперировать пациента в случае необходимости (например, в случае внутричерепной гематомы).
* Послеоперационная госпитализация в отделение реанимации не является обязательной при отсутствии осложнений.
* Как только пациент очнулся с нормальным неврологическим статусом, его можно перевести в нейрохирургическое отделение или непосредственно в отделение эпилептического мониторинга.
* Рекомендуется выполнить раннюю (в течение 24 часов) послеоперационную визуализацию (только МР-сканирование или КТ, совмещенную с МР-сканированием), чтобы убедиться в отсутствии каких-либо бессимптомных осложнений и проверить точную позицию каждого имплантированного электрода.
* После имплантации электродов в операционном блоке как можно скорее начинают запись. Точное знание анатомического расположения контактов электродов имеет решающее значение для интерпретации [46,47,48,49].
* Интериктальная активность и иктальные разряды анализируются параллельно в соответствии с электрофизиологическими стандартами. Эпилептические приступы являются основным объектом исследования через анатомические-электроклинические корреляции. Анализ семиологии базируется на исследовании иктального и постиктального клинического выражения.
* Заключение должно давать анатомическое определение области мозга, участвующее в выработке интериктальной и иктальной активности, и их связь с возможным очагом поражением. Окончательные заключения (с возможной схемой резекции) представляются во время междисциплинарного консилиума [50,51,52].
* При определении ЭЗ удаление электродов проводится одномоментно, во время основного вмешательства – резекции, РЧТК.
* Основным терапевтическим показанием к проведению РЧТК под контролем СЭЭГ является наличие противопоказаний к хирургической резекции из-за морфологического или функционально-анатомического определения ЭЗ. РЧТК под контролем СЭЭГ обычно выполняется в конце периода записи. Продолжение записи СЭЭГ может быть полезно после РЧТК. РЧТК под контролем СЭЭГ следует выполнять без анестезии, чтобы обеспечить возможность неврологического клинического мониторинга во время процедуры.
* Удаление электродов может проводиться у постели больного или в операционной.
* У молодых педиатрических пациентов рекомендуется производить удаление электродов под местной или кратковременной общей анестезией и накладывать швы.
* Настоятельно рекомендуется убедиться, что каждый снятый электрод не поврежден. В противном случае необходимо немедленно провести рентгенологическое исследование черепа.
* После снятия электрода рекомендуется оставить пациента в больнице не менее одного дня.
* В литературе не приводятся данные в пользу необходимости проведения нейровизуализации после удаления электродов.

**Возможные осложнения и частота их проявления:**

* Интрацеребральное кровоизлияние (0,6–1,4%) [1, 53, 54, 55, 56];
* Развитие инфекции (0,3–1,2%) [1, 54, 56].

**Методы предотвращения и борьба с последствиями:**

* С целью минимизации рисков интрацеребрального кровоизлияния проводится предоперационная нейровизуализация сосудов и тщательное программное планирование траектории каждого электрода. Постимплантационный контроль на наличие гематомы проводится при помощи КТ или МРТ головного мозга. Если возникают ранние или отсроченные кровоизлияния, хирургическому удалению гематомы подвергаются только симптомные случаи. При асимптомных и малого размера гематомах дополнительная операция обычно не проводится [1, 53, 54, 55, 56].
* Профилактическое внутривенное введение антибиотиков осуществляется за 60 минут до кожного разреза, с последующей поддерживающей дозой в течение 24 часов. Учитывая контакт удлинителя электродов с внешней средой, рационально ведение антибиотиков в течение всего периода электроэнцефалографической регистрации. Выявление признаков инфицирования является показанием к немедленному удалению электродов с соответствующими мерами максимально эффективной антибактериальной терапии [1, 44].

**2.7 Индикаторы эффективности процедуры/вмешательства:**

* Вероятность определения ЭЗ согласно данным проведенных научных исследований составляет более 80% [4, 7, 19, 46, 47, 53].

1. **ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ПРОТОКОЛА:**
   1. **Список разработчиков протокола:**
2. Садвакасов Аскербек Турынбекович – врач нейрохирург, заведующий хирургическим отделением №6 (нейрохирургия) РГП «Больница Медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан» на ПХВ;
3. Шпеков Азат Салимович – врач нейрохирург ТОО «Green Clinic»;
4. Ермеков Талгат Жомартович – врач нейрохирург хирургического отделения №6 (нейрохирургия) РГП «Больница Медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан» на ПХВ;
5. Серікбай Абылай Шоқанұлы – врач нейрохирург хирургического отделения №6 (нейрохирургия) РГП «Больница Медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан» на ПХВ;
6. Утебеков Жасулан Ергалиевич – врач невролог отделения функциональной диагностики РГП «Больница Медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан» на ПХВ;
7. Кыргызбаев Газиз Кыргызбаевич – врач невролог отделения функциональной диагностики РГП «Больница Медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан» на ПХВ;
8. Нуриманов Чингиз Сагдатович – врач нейрохирург второй категории отделения сосудистой и функциональной нейрохирургии АО «Национальный центр нейрохирургии»;
9. Жайлганов Азамат Абикенович – врач нейрохирург первой категории отделения детской нейрохирургии ГКП на ПХВ «Детская городская клиническая больница №2» города Алматы;
10. Махамбаев Габит Джандильдинович – кандидат медицинских наук, врач высшей категории, руководитель центра нейрохирургии, главный внештатный нейрохирург Карагандинской области;
11. Нурпеисова Алтын Алданышовна – клинический фармаколог, заведующая клинико-фармакологическим отделом РГП «Больница Медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан» на ПХВ;
12. Тұрар Олжас Асқарұлы – магистр, и.о. руководителя отдела оценки технологий здравоохранения и стратегического развития РГП «Больница Медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан» на ПХВ;
13. Айманова Таңшолпан Бауыржанқызы – магистр, главный специалист отдела оценки технологий здравоохранения и стратегического развития РГП «Больница Медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан» на ПХВ.
    1. **Конфликт интересов**: нет.
    2. **Рецензенты:**
14. Махамбетов Ербол Таргынулы – кандидат медицинских наук, врач нейрохирург высшей категории, заведующий отделением сосудистой и функциональной нейрохирургии АО «Национальный центр нейрохирургии», лауреат государственной премии Республики Казахстан;
15. Джаксыбаева Алтыншаш Хайруллаевна – доктор медицинских наук, врач невролог высшей категории, заведующая кафедрой неврологии НАО «Медицинский университет Астана».
    1. **Условия пересмотра протокола:**

пересмотр протокола через 5 лет после его опубликования и с даты его вступления в действие или при наличии новых методов с высоким уровнем доказательности.

* 1. **Список использованной литературы:**

1. Jayakar P, Gotman J, Harvey AS, et al. Diagnostic utility of invasive EEG for epilepsy surgery: indications, modalities, and techniques. Epilepsia 2016;57(11):1735–1747.
2. Isnard J, Taussig D, Bartolomei F, et al. French guidelines on stereoelectroencephalography (SEEG). Neurophysiol Clin 48: 5–13, 2018.
3. Jehi L. The epileptogenic zone: concept and definition. Epilepsy Curr 2018;18(01):12–16.
4. Iida K, Otsubo H: Stereoelectroencephalography: indication and efficacy. Neurol Med Chir (Tokyo) 57: 375–385, 2017.
5. Minotti L, Montavont A, Scholly J, et al. Indications and limits of stereoelectroencephalography (SEEG). Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology (2018) 48, 15—24.
6. UK Children’s Epilepsy Surgery Collaboration. The UK experience of stereoelectroencephalography in children: an analysis of factors predicting the identification of a seizure-onset zone and subsequent seizure freedom. Epilepsia 2021;62(08):1883–1896.
7. Sacino MF, Huang SS, Schreiber J, Gaillard WD, Oluigbo CO. Is the use of stereotactic electroencephalography safe and effective in children? A meta-analysis of the use of stereotactic electroencephalography in comparison to subdural grids for invasive epilepsy monitoring in pediatric subjects. Neurosurgery 2019;84(06):1190–1200.
8. Kim W, Shen MY, Provenzano FA, et al. The role of stereoelectroencephalography to localize the epileptogenic zone in children with nonlesional brain magnetic resonance imaging. Epilepsy Res 2021; 179:106828.
9. Tomlinson SB, Buch VP, Armstrong D, et al. Stereoelectroencephalography in Pediatric Epilepsy Surgery. J Korean Neurosurg Soc 62 (3) : 302-312, 2019.
10. Kassiri J, Elliott C, Liu N, Sinclair DB. Safety and Efficacy of Stereoelectroencephalography in Pediatric Epilepsy Surgery. J Pediatr Epilepsy 2022;11:75–79.
11. De Benedictis A, Trezza A, Carai A, Genovese E, Procaccini E, Messina R, Randi F, Cossu S, Esposito G, Palma P, Amante P, Rizzi M, Marras CE (2017) Robot-assisted procedures in pediatric neurosurgery. Neurosurg Focus 42(5):E7.
12. McGovern RA, Knight EP, Gupta A, et al. Robot-assisted ste- reoelectroencephalography in children. J Neurosurg Pediatr. 2018;23:288–96.
13. Jehi L, Morita-Sherman M, Love TE, et al. Comparative effectiveness of stereotactic electroencephalography versus subdural grids in epilepsy surgery. Ann Neurol 2021;90(06):927–939.
14. Coorg R, Seto ES. Invasive Epilepsy Monitoring: The Switch from Subdural Electrodes to Stereoelectroencephalography. J Pediatr Epilepsy 2023;12:21–28.
15. Fiani B, Jarrah R, Doan T, et al. Stereoelectroencephalography versus Subdural Electrode Implantation to Determine Whether Patients with Drug-resistant Epilepsy Are Candidates for Epilepsy Surgery. Neurol Med Chir (Tokyo) 61, 347–355, 2021.
16. Katz JS, Abel TJ: Stereoelectroencephalography versus subdural electrodes for localization of the epileptogenic zone: what is the evidence? Neurotherapeutics 16: 59–66, 2019.
17. Tandon N, Tong BA, Friedman ER, et al.: Analysis of morbidity and outcomes associated with use of subdural grids vs stereoelectroencephalography in patients with intractable epilepsy. JAMA Neurol 76: 672–681, 2019.
18. Valentin A, Hernando-Quintana N, Moles-Herbera J, et al. Depth versus subdural temporal electrodes revisited: impact on surgical outcome after resective surgery for epilepsy. Clin Neurophysiol. 2017;128(3):418-423.
19. Lee AT, Nichols NM, Speidel BA et al. Modern intracranial electroencephalography for epilepsy localization with combined subdural grid and depth electrodes with low and improved hemorrhagic complication rates. J Neurosurg 138:821–827, 2023.
20. Di Vito L, Mauguière F, Catenoix H, Rheims S, Bourdillon P, Montavont A, et al. Epileptic networks in patients with bitemporal epilepsy: the role of SEEG for the selection of good surgical candidates. Epilepsy Res 2016;128:73–82.
21. Perven G, Podkorнедеova I, Ding K, et al. Non-lesional mesial temporal lobe epilepsy requires bilateral invasive evaluation. Epilepsy Behav Rep 2021;15:100441.
22. Steriade C, Martins W, Bulacio J, et al. Localization yield and seizure outcome in patients undergoing bilateral SEEG exploration. Epilepsia 2019;60(01):107–120.
23. Zijlmans M, Worrell GA, Dümpelmann M, et al.: How to record high-frequency oscillations in epilepsy: a practical guideline. Epilepsia 58: 1305–1315, 2017.
24. Frauscher B, Bartolomei F, Kobayashi K, et al.: High- frequency oscillations: The state of clinical research. Epilepsia 58: 1316–1329, 2017.
25. Di Giacomo R, Uribe-San-Martin R, Mai R, et al.: Stereo-EEG ictal/interictal patterns and underlying pathologies. Seizure 72: 54–60, 2019.
26. Xu Y, Wang H, Zhao Y, et al. Stereoelectroencephalography-Guided Radiofrequency Thermocoagulation of Epileptic Foci in the Eloquent Motor Cortex: Feasibility, Safety, and Efficacy. World Neurosurg. (2022) 164:492-500.
27. Bourdillon P, Rheims S, Catenoix H, et al.: Surgical techniques: Stereoelectroencephalography-guided radiofrequency-thermocoagulation (SEEG-guided RF-TC). Seizure 77: 64–68, 2020.
28. Bourdillon P, Isnard J, Catenoix H, et al. Stereo electroencephalography-guided radiofrequency thermocoagulation (SEEG-guided RF-TC) in drug-resistant focal epilepsy: results from a 10-year experience. Epilepsia. 2017;58:85-93.
29. Bourdillon P, Cucherat M, Isnard J, et al. Stereoelectroencephalography-guided radiofrequency thermocoagulation in patients with focal epilepsy: a systematic review and meta-analysis. Epilepsia. 2018;59:2296-2304.
30. Bourdillon P, Devaux B, Job-Chapron AS, Isnard J. SEEG-guided radiofrequency thermocoagulation. Neurophysiol Clin. 2018;48:59-64.
31. Dimova P, de Palma L, Job-Chapron AS, Minotti L, Hoffmann D, Kahane P. Radiofrequency thermocoagulation of the seizure-onset zone during stereoelectroencephalography. Epilepsia. 2017;58:381-392.
32. Van Der Loo L, Schijns O, Hoogland G, Colon A, Wagner G, Dings J, Kubben P (2017) Methodology, outcome, safety and in vivo accuracy in traditional frame-based stereoelectroencephalography. Acta Neurochir 159(9):1733–1746.
33. Joswig H, Benson CM, Parrent AG, MacDougall KW, Steven DA. Operative 361. nuances of stereotactic leksell frame-based depth electrode implantation. Oper Neurosurg. 2018;15(3):292-295.
34. Vakharia VN, Rodionov R, Miserocchi A, et al., Comparison of robotic and manual implantation of intracerebral electrodes: a single-centre, single-blinded, randomised controlled trial. Sci Rep. 2021; 11(1): 17127.
35. González-Martínez J, Bulacio J, Thompson S, et al. Technique, results, and complications related to robot-assisted stereoelectroencephalography. Neurosurgery. 2016;78(2):169–180.
36. Dorfer C, Minchev G, Czech T, et al. A novel miniature robotic device for frameless implantation of depth electrodes in refractory epilepsy. J Neurosurg. 2017;126(5):1622–1628.
37. Rollo PS, Rollo MJ, Zhu P, Woolnough O, Tandon N (2020) Oblique trajectory angles in robotic stereoelectroencephalography. J Neurosurg 14:1–10.
38. Sharma JD, Seunarine KK, Zubair Tahir M, Tisdall MM (2019) Accuracy of robot-assisted versus optical frameless navigated stereoelectroencephalography electrode placement in children. J Neurosurg Pediatr 23:297–302.
39. Zheng J, Liu Y, Zhang D, Cui X, Sang L, Xie T, Li W (2020) Robot-assisted versus stereotactic frame-based stereoelectroencephalography in medically refractory epilepsy. Clin Neurophysiol 51(2):111–119.
40. Kalamangalam GP, Tandon N. Stereo-EEG implantation strategy. J Clin Neurophysiol 2016;33(06):483–489.
41. Guénot M, et al. Surgical technique. Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology (2017).
42. Vakharia VN, Sparks R, O’Keeffe AG, et al. Accuracy of intracranial electrode placement for stereoelectroencephalography: a systematic review and meta-analysis. Epilepsia.2017; 58(6): 921–932.
43. Cardinale F, Casaceli G, Raneri F, Miller JP, Lo Russo G (2016) Implantation of StereoElectroEncephaloGraphy (SEEG) electrodes: a systematic review. J Clin Neurophysiol 33(6):490–502.
44. Chassoux F, Navarro V, Catenoix H, et al. Planning and management of SEEG. Neurophysiol Clin 2018;48(1):25–37.
45. Schuele S (ed): A Practical Approach to Stereo EEG, ed 1. New York, Demos Medical Publishing, Springer Publishing Company, LLC. 2020.
46. Toth M, Papp KS, Gede N, et al. Surgical outcomes related to invasive EEG monitoring with subdural grids or depth electrodes in adults: a systematic review and meta-analysis. Seizure. 2019;70: 12-19.
47. Yan H, Katz JS, Anderson M, et al. Method of invasive monitoring in epilepsy surgery and seizure freedom and morbidity: a systematic review. Epilepsia. 2019;60(9):1960-1972.
48. Joswig H, Steven DA, Parrent AG, et al. Intracranial electroencephalographic monitoring: from subdural to depth electrodes. Can J Neurol Sci. 2018;45(3):336- 338.
49. Mullin JP, Sexton D, Al-Omar S, Bingaman W, Gonzalez-Martinez J: Outcomes of subdural grid electrode monitoring in the stereoelectroencephalography era. World Neurosurg 89: 255–258, 2016.
50. Khoo HM, Hall JA, Dubeau F, et al. Technical Aspects of SEEG and Its Interpretation in the Delineation of the Epileptogenic Zone. Neurol Med Chir (Tokyo) 60, 565–580, 2020.
51. Bulacio J, Chauvel P, McGonigal A. Stereoelectroencephalography: interpretation. J Clin Neurophysiol 2016;33: 503–10.
52. Bartolomei F, Nica A, Valenti-Hirsch MP, Adam C, Denuelle M: Interpretation of SEEG recordings. Neurophysiol Clin 48: 53–57, 2018.
53. Mullin JP, Shriver M, Alomar S, et al.: Is SEEG safe? A systematic review and meta-analysis of stereo-electroencephalography-related complications. Epilepsia 57: 386–401, 2016.
54. Willems LM, Reif PS, Spyrantis A, et al. Invasive EEG-electrodes in presurgical evaluation of epilepsies: systematic analysis of implantation, video-EEG-monitoring and explantation-related complications, and review of literature. Epilepsy Behav. 2019;91:30-37.
55. Mcgovern RA, Ruggieri P, Bulacio J, Najm I, Bingaman WE, Gonzalez-Martinez JA (2019) Risk analysis of hemorrhage in stereo-electroencephalography procedures. Epilepsia 60:571–580.
56. Joswig H, Lau JC, Abdallat M, et al. Stereoelectroencephalography Versus Subdural Strip Electrode Implantations: Feasibility, Complications, and Outcomes in 500 Intracranial Monitoring Cases for Drug-Resistant Epilepsy. Neurosurgery 0:1–8, 2020.