Medical
Research
Journal

ИНТРАОПЕРАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ АНЕСТЕЗИОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ХИРУРГИЧЕСКОЙ ГЛУБОКОЙ СТИМУЛЯЦИИ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Матлубов Мансур Муратович
д.м.н, профессор, заведующий кафедрой анестезиологии, реанимации и неотложной медицины СамГМУ
Пардаев Шукур Куйлиевич
к.м.н, доцент кафедры анестезиологии, реанимации и неотложной медицины СамГМУ
Алиев Мансур Абдухоликович
PhD, доцент, заведующий кафедрой нейрохирургии СамГМУ
Бобобеков Иброхим Бекмирзаевич
врач анестезиолог-реаниматолог многопрофильной клиники СамГМУ

Аннотация

Актуальность. Глубокая стимуляция головного мозга (Deep Brain Stimulation, DBS) относится к наиболее технологически сложным направлениям функциональной нейрохирургии, применяемым при болезни Паркинсона, эссенциальном треморе, дистонии и отдельных формах фармакорезистентной эпилепсии. Интраоперационное анестезиологическое обеспечение DBS характеризуется необходимостью одновременного поддержания физиологической стабильности, адекватной аналгезии, контроля дыхательных путей и сохранения диагностической информативности нейрофизиологического мониторинга. Особую сложность представляет влияние гипнотических, седативных и анальгетических препаратов на электрическую активность базальных ганглиев.

Материалы и методы. Выполнен аналитический обзор исследований, посвящённых анестезии при DBS, включая рандомизированные клинические исследования, метаанализы и международные рекомендации. Проведено сопоставление операций в сознании, контролируемой седации и общей анестезии с оценкой их влияния на нейрофизиологические параметры и периоперационную безопасность.

Результаты. Систематизированы особенности применения пропофола, дексмедетомидина, ремифентанила и ингаляционных анестетиков. Представлена авторская поэтапная модель интраоперационного анестезиологического сопровождения, предусматривающая адаптацию глубины анестезии к хирургическому этапу, нейрофизиологическим требованиям и индивидуальному профилю риска.

Заключение. Интраоперационная анестезия при DBS должна рассматриваться как динамический процесс, интегрирующий нейрофизиологический контроль, защиту дыхательных путей и поддержание гемодинамического равновесия. Индивидуализированная стратегия, разработанная совместно анестезиологом, нейрохирургом и нейрофизиологом, создаёт условия для безопасного и технически полноценного выполнения вмешательства.

Ключевые слова: глубокая стимуляция головного мозга, нейроанестезиология, болезнь Паркинсона, интраоперационная анестезия, пропофол, дексмедетомидин, ремифентанил, микроэлектродная регистрация, седация, гемодинамический мониторинг.

DBS JARROHLIGIDA INTRAOPERATSION ANESTEZIYANING O‘ZIGA XOS XUSUSIYATLARI

Matlubov Mansur Muratovich
t.f.d, professor, SamDTU Anesteziologiya, reanimatsiya va shoshilinch tibbiyot kafedrasi mudiri

Pardayev Shukur Quylievich
t.f.n, SamDTU Anesteziologiya, reanimatsiya va shoshilinch tibbiyot kafedrasi dotsenti
Aliyev Mansur Abduxoliqovich
PhD, dotsent, SamDTU Neyroxirurgiya kafedrasi mudiri
Bobobekov Ibrohim Bekmirzayevich
SamDTU Ko‘p tarmoqli klinikasi anesteziolog-reanimatolog shifokori

Annotatsiya

Dolzarbligi. Bosh miyaning chuqur stimulyatsiyasi (DBS) Parkinson kasalligi, essensial tremor, distoniya hamda ayrim farmakorezistent epilepsiya shakllarini davolashda qo‘llaniladigan murakkab funksional neyroxirurgik usuldir. DBS jarrohligida intraoperatsion anesteziologik ta’minotning asosiy xususiyati bemorning fiziologik barqarorligini saqlash, yetarli og‘riqsizlantirish, nafas yo‘llari xavfsizligini ta’minlash va neyrofiziologik monitoringning diagnostik ahamiyatini saqlab qolishdan iborat.

Materiallar va usullar. DBS jarrohligida anesteziologik ta’minotga bag‘ishlangan randomizatsiyalangan klinik tadqiqotlar, metatahlillar, ilmiy sharhlar va xalqaro tavsiyalar o‘rganildi. Bemor hushyor holatda, sedatsiya yoki umumiy anesteziya ostida bajariladigan amaliyotlarning xususiyatlari taqqoslandi.

Natijalar. Propofol, deksmedetomidin, remifentanil va ingalyatsion anestetiklarning neyrofiziologik monitoringga ta’siri tizimlashtirildi. Jarrohlik bosqichiga mos ravishda anesteziya chuqurligini boshqarish, gemodinamik ko‘rsatkichlarni nazorat qilish va intraoperatsion xavfsizlikni ta’minlashga qaratilgan mualliflik modeli taklif etildi.

Xulosa. DBS jarrohligida anesteziologik ta’minot individual yondashuv va doimiy multidissiplinar hamkorlikni talab qiladi. Anesteziya usulini to‘g‘ri tanlash va intraoperatsion fiziologik parametrlarni nazorat qilish jarrohlik xavfsizligining muhim tarkibiy qismidir.

Kalit so‘zlar: bosh miyaning chuqur stimulyatsiyasi, neyroanesteziologiya, Parkinson kasalligi, intraoperatsion anesteziya, propofol, deksmedetomidin, remifentanil, mikroelektrod qayd qilish, sedatsiya, gemodinamik monitoring.

INTRAOPERATIVE FEATURES OF ANESTHETIC MANAGEMENT DURING DEEP BRAIN STIMULATION SURGERY

Matlubov Mansur Muratovich
DSc, Professor, Head of the Department of Anesthesiology, Resuscitation and Emergency Medicine, SamSMU
Pardayev Shukur Quylievich
Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Anesthesiology, Resuscitation and Emergency Medicine, SamSMU
Aliyev Mansur Abdukholikovich
PhD, Associate Professor, Head of the Department of Neurosurgery, SamSMU
Bobobekov Ibrohim Bekmirzayevich
Anesthesiologist and Intensive Care Physician, Multidisciplinary Clinic of SamSMU

Abstract

Background. Deep brain stimulation (DBS) is an advanced functional neurosurgical procedure used for Parkinson's disease, essential tremor, dystonia, and selected forms of drug-resistant epilepsy. Intraoperative anesthetic management requires a balance between adequate analgesia, physiological stability, airway protection, and preservation of neurophysiological signals. Anesthetic-induced changes in neuronal firing activity represent a major challenge during microelectrode-guided electrode implantation.

Materials and Methods. A narrative analytical review of randomized clinical trials, systematic reviews, observational studies, and international recommendations was conducted.

Awake surgery, monitored anesthesia care, and general anesthesia were compared with emphasis on neurophysiological recording quality and intraoperative safety.

Results. The effects of propofol, dexmedetomidine, remifentanil, and volatile anesthetics were analyzed. An original phase-adapted intraoperative management model was proposed, integrating anesthetic depth, airway protection, cardiovascular stability, and surgical monitoring requirements.

Conclusion. Intraoperative anesthetic management during DBS should be individualized according to patient-specific risk factors, surgical targeting methods, and electrophysiological requirements. Close collaboration among anesthesiologists, neurosurgeons, and neurophysiologists is essential for safe and effective DBS surgery.

Keywords: deep brain stimulation, neuroanesthesia, Parkinson's disease, intraoperative anesthesia, propofol, dexmedetomidine, remifentanil, microelectrode recording, sedation, hemodynamic monitoring.

Введение. Глубокая стимуляция головного мозга представляет собой высокотехнологичный метод функциональной нейрохирургии, основанный на имплантации электродов в определённые подкорковые структуры с последующей электрической модуляцией патологически изменённых нейрональных сетей. Наиболее изученными мишенями являются субталамическое ядро (nucleus subthalamicus, STN), внутренний сегмент бледного шара (globus pallidus internus, GPi) и вентральное промежуточное ядро таламуса (nucleus ventralis intermedius, VIM). Клиническая эффективность DBS определяется точностью имплантации электродов, правильностью отбора пациентов, особенностями программирования нейростимулятора и качеством междисциплинарного сопровождения [1, 2, 3, 4]. Современные достижения стереотаксической нейрохирургии значительно расширили возможности выполнения DBS при различных двигательных расстройствах. Тем не менее особенности хирургического вмешательства предъявляют специфические требования к анестезиологическому обеспечению. В отличие от стандартной краниотомии, при которой достижение достаточной глубины гипноза, аналгезии и неподвижности является одной из основных задач анестезиолога, при DBS дополнительно необходимо учитывать влияние анестетиков на функциональную активность нейрональных структур, используемых для интраоперационной идентификации хирургической мишени [5, 6, 7].

Одной из центральных проблем является противоречие между потребностью в надёжной анестезиологической защите и необходимостью сохранения электрофизиологической информативности микроэлектродной регистрации. Microelectrode recording (MER), или микроэлектродная регистрация, позволяет оценивать спонтанную импульсную активность отдельных нейронов и нейрональных популяций, определять функциональные границы подкорковых ядер и уточнять положение хирургической мишени. Однако различные препараты для анестезии способны изменять частоту импульсации, структуру пачечной активности и спектральные характеристики нейрональных разрядов [8, 9, 10, 11]. Особое значение имеет фармакологическое влияние на ГАМК-ергическую нейротрансмиссию. Пропофол, воздействующий преимущественно через рецепторные механизмы гамма-аминомасляной кислоты типа А, может вызывать дозозависимое изменение активности субталамического ядра. При этом выраженность электрофизиологических изменений зависит не только от концентрации препарата, но и от глубины анестезии, анатомической мишени, исходного состояния нейрональных сетей и сопутствующей анальгетической терапии [8, 9, 10].

Дексмедетомидин, являющийся селективным агонистом α2-адренорецепторов, получил широкое распространение при выполнении DBS в условиях контролируемой седации. Его преимущество связано с возможностью достижения управляемого седативного эффекта при сравнительно небольшом непосредственном угнетении дыхания. Однако изменение симпатической активности, развитие брадикардии и артериальной гипотензии, а также потенциальное влияние на нейрональную импульсацию требуют осторожной индивидуализации анестезии [12, 13]. Важное направление современной функциональной

нейрохирургии связано с переходом от традиционных операций в сознании пациента к вмешательствам под общей анестезией. Разработка усовершенствованных методов нейровизуализации, интраоперационной компьютерной томографии, магнитно-резонансной навигации и комбинированного электрофизиологического контроля позволила в ряде случаев выполнять DBS без обязательного интраоперационного клинического тестирования пациента [14, 15, 16]. Рандомизированное исследование GALAXY, опубликованное в 2021 году, продемонстрировало сопоставимые моторные результаты после DBS в сознании и под общей анестезией. Исследование CHAMPION, опубликованное в 2026 году, подтвердило возможность сохранения высококачественной микроэлектродной регистрации при использовании специального режима десфлурановой анестезии. Вместе с тем систематические обзоры указывают на неоднородность хирургических протоколов, ограниченность отдельных исследований и необходимость индивидуального выбора метода анестезиологического обеспечения [15, 16, 17, 18]. Сравнительные исследования также продемонстрировали, что общая анестезия может обеспечивать достаточную точность имплантации электродов и удовлетворительные функциональные результаты. Однако следует учитывать различия между методиками, основанными исключительно на нейровизуализации, и операциями, при которых общая анестезия сочетается с микроэлектродной регистрацией. Эти варианты DBS имеют различные требования к глубине анестезии, контролю двигательной активности и последовательности интраоперационных этапов [19, 20, 21, 22, 23].

Дополнительной проблемой является обеспечение стабильной гемодинамики. У больных с болезнью Паркинсона нередко наблюдаются расстройства автономной нервной системы, проявляющиеся ортостатической гипотензией, сниженной барорефлекторной чувствительностью, нарушениями сердечного ритма и изменением сосудистой реактивности. На фоне применения гипнотических и седативных препаратов данные изменения могут способствовать развитию интраоперационной гипотензии, тогда как боль, стресс и недостаточная аналгезия способны вызывать выраженные гипертензивные реакции [7, 24, 25].

Не менее важной задачей является контроль дыхательных путей. Стереотаксическая рама, ограниченная подвижность головы, длительность вмешательства и необходимость функционального тестирования существенно затрудняют стандартные мероприятия по респираторной поддержке. При проведении контролируемой седации вероятность нарушения проходимости верхних дыхательных путей определяется глубиной седации, исходным респираторным резервом и наличием сопутствующих нарушений глотания [5, 29, 31]. Актуальность совершенствования интраоперационного анестезиологического обеспечения определяется также возрастающим интересом к регионарным методам обезболивания. Блокада нервов волосистой части головы способна снижать выраженность болевой импульсации при установке стереотаксической рамы и выполнении трепанационного отверстия, ограничивать потребность в системных анестетиках и улучшать переносимость вмешательства [26]. При использовании ремифентанила необходимо учитывать не только его выраженный анальгетический потенциал, но и возможное влияние на гемодинамику и характеристики нейрональных осцилляций. Исследования показывают, что данный препарат может способствовать улучшению гемодинамической управляемости, однако его нейрофизиологическая нейтральность не является абсолютной [27, 28].

Существенную роль играют периоперационные особенности болезни Паркинсона, включая нарушения дофаминергической регуляции, риск акинетического криза, повышенную чувствительность к отдельным лекарственным средствам и возможность развития послеоперационных когнитивных осложнений [29, 30]. Важными остаются вопросы прогнозирования трудного обеспечения дыхательных путей, профилактики аспирации, послеоперационной тошноты, рвоты и делирия. Международные рекомендации подчёркивают необходимость индивидуального планирования респираторной безопасности, рациональной медикаментозной профилактики осложнений и контроля глубины анестезии [31, 32, 33, 34]. Наряду с этим во время DBS возможны относительно редкие, но

потенциально тяжёлые осложнения, включая внутричерепное кровоизлияние, венозную воздушную эмболию, судорожные приступы и формирование пневмоцефалии. Особенности хирургической техники, продолжительность оперативного этапа и использование различных систем нейрофизиологической навигации могут влиять на характер возникающих рисков [35, 36, 37, 38]. Следовательно, интраоперационное анестезиологическое обеспечение DBS должно рассматриваться не как статический фармакологический режим, а как динамическая система управления физиологическими параметрами пациента, адаптируемая к отдельным этапам функционального нейрохирургического вмешательства.

Материалы и методы. Исследование выполнено в формате аналитического научного обзора с последующей разработкой авторской концептуальной модели интраоперационного анестезиологического сопровождения DBS. Для подготовки работы проведён целенаправленный анализ научной литературы по вопросам нейроанестезиологии, функциональной нейрохирургии, стереотаксической имплантации электродов и периоперационной безопасности пациентов с двигательными расстройствами.

В обзор включались публикации, непосредственно характеризующие влияние анестезиологических методик на нейрональную активность, качество хирургической навигации, физиологическую стабильность и клинические результаты глубокой стимуляции головного мозга. Проведённый анализ имел повествовательный и сравнительно-аналитический характер. Формальная оценка риска систематической ошибки с использованием специализированных инструментов и метааналитическое объединение количественных данных не выполнялись. Основными направлениями анализа являлись особенности индукции анестезии при наличии стереотаксических ограничений, выбор анестезиологической техники, управление глубиной гипноза и аналгезии, коррекция вентиляционных нарушений, поддержание гемодинамической стабильности, влияние анестетиков на микроэлектродную регистрацию и профилактика интраоперационных осложнений.

С целью систематизации литературных данных разработана авторская концептуальная модель I-DBS-AM (Intraoperative Deep Brain Stimulation Anesthesia Management - интраоперационное анестезиологическое управление при DBS). Модель предусматривает разделение анестезиологического сопровождения на функционально значимые этапы, в каждом из которых устанавливаются собственные клинические приоритеты. Основой предложенного подхода является согласование требуемой глубины анестезии с нейрохирургическими и нейрофизиологическими задачами. В соответствии с данной концепцией оценивались показатели системной гемодинамики, оксигенации, вентиляции, глубины седации, качества локальной аналгезии, устойчивости нейрофизиологических сигналов и возможности безопасного завершения вмешательства. Авторская модель представляет собой образовательный и клинико-организационный алгоритм. Она не является валидированной прогностической системой и не предусматривает использование универсальных дозировок анестетиков или единых целевых показателей артериального давления без учёта клинического состояния. Собственная выборка пациентов в исследовании не формировалась. Новые показатели частоты осложнений и статистической достоверности не рассчитывались. Все приведённые числовые результаты получены из ранее опубликованных исследований.

Результаты

Интраоперационная анестезиологическая стратегия при DBS. Анализ литературы позволил выделить три основные стратегии анестезиологического обеспечения DBS: проведение операции в сознании пациента под местной анестезией, использование контролируемой седации с сохранением самостоятельного дыхания и выполнение вмешательства под общей анестезией с инструментальным контролем дыхательных путей. Первая стратегия предусматривает максимальное сохранение естественной нейрофизиологической активности и возможность непосредственного клинического тестирования. Основными ограничениями являются выраженные двигательные расстройства, болевая чувствительность к этапам фиксации и трепанации, тревога,

психологический дискомфорт и необходимость длительного неподвижного положения. Контролируемая седация позволяет уменьшить субъективную тяжесть вмешательства, сохраняя возможность пробуждения пациента на отдельных этапах. Её эффективность определяется высокой управляемостью гипнотического и анальгетического компонентов. Чрезмерная глубина седации может приводить к нарушению вентиляции, обструкции верхних дыхательных путей и снижению информативности клинического тестирования. Общая анестезия обеспечивает контролируемую неподвижность, защиту дыхательных путей и более предсказуемые условия хирургического позиционирования. Однако при использовании микроэлектродной регистрации требуется специальная адаптация фармакологической схемы к особенностям функционального картирования. Выбор метода должен производиться индивидуально, с учётом анатомической мишени, особенностей хирургической навигации, выраженности двигательных расстройств, когнитивного статуса и технической оснащённости операционной.

Таблица 1. Сравнительная характеристика интраоперационных методов анестезии при DBS

Критерий	**Операция в сознании**	**Контролируемая седация**	**Общая анестезия**
Глубина гипноза	Отсутствует	Регулируемая	Хирургическая
Спонтанное дыхание	Сохранено	Обычно сохранено, но возможно угнетение	Обычно используется управляемая вентиляция
Клиническое тестирование	Полноценное	Возможно при достаточном пробуждении	Обычно невозможно
Микроэлектродная регистрация	Минимальное лекарственное влияние	Зависит от препарата и дозы	Требует адаптации анестезиологического режима
Контроль двигательной активности	Ограниченный	Частичный	Высокий
Респираторная безопасность	Зависит от исходного состояния	Риск обструкции при углублении седации	Более предсказуема при защищённых дыхательных путях
Гемодинамическая реактивность	Возможны стрессовые реакции	Зависит от глубины седации	Зависит от препаратов и автономной регуляции
Основное преимущество	Клиническое и нейрофизиологическое тестирование	Возможность поэтапного изменения глубины седации	Комфорт и неподвижность пациента
Основное ограничение	Необходимость кооперации	Риск гиповентиляции и лекарственного влияния на сигналы	Ограничение клинического тестирования

Особенности индукции анестезии и стереотаксической фиксации. Начальный этап DBS имеет особенности, связанные с использованием стереотаксической рамы и необходимостью точного позиционирования головы. В зависимости от хирургического протокола фиксация головы может выполняться до индукции общей анестезии либо после её проведения. При выборе общей анестезии до начала стереотаксической фиксации

необходимо обеспечить надёжную проходимость дыхательных путей и стабильность вентиляции. Наиболее распространённым вариантом является интубация трахеи с последующим проведением контролируемой вентиляции лёгких. После установки стереотаксической рамы доступ к нижней челюсти, ротовой полости и лицевой области может существенно ограничиваться. Поэтому интубационная трубка должна быть надёжно фиксирована, а её положение необходимо повторно оценивать после изменения положения головы. Особое внимание уделяется предотвращению перегиба дыхательного контура, нарушения венозного оттока и избыточного давления элементов рамы на мягкие ткани головы. При операциях в сознании выраженным ноцицептивным стимулом является фиксация стереотаксических штифтов. Недостаточная аналгезия в этот момент может сопровождаться тахикардией, гипертензией, двигательной реакцией и повышением уровня тревоги. Применение местной инфильтрационной анестезии и регионарной блокады нервов скальпа позволяет уменьшить интенсивность афферентной болевой импульсации. При этом необходимо учитывать суммарную дозу местных анестетиков, вероятность внутрисосудистого введения и риск системной токсичности. Важной задачей анестезиолога является профилактика чрезмерного углубления седации только ради подавления кратковременных болевых реакций. При недостаточной аналгезии рациональнее оценить эффективность местного обезболивания, чем автоматически увеличивать дозу гипнотического препарата.

Интраоперационная фармакология гипнотических и седативных препаратов. Пропофол является одним из наиболее часто применяемых внутривенных гипнотиков при DBS благодаря быстрому развитию эффекта, относительно высокой управляемости глубины анестезии и возможности применения в составе тотальной внутривенной анестезии. Его клиническая эффективность связана с усилением тормозной ГАМК-ергической нейротрансмиссии. Однако указанный механизм одновременно обусловливает потенциальное изменение электрической активности базальных ганглиев. Пропофол способен снижать интенсивность нейрональной импульсации субталамического ядра и изменять структуру локальных полевых потенциалов. При уменьшении концентрации препарата электрофизиологические характеристики могут восстанавливаться, но скорость восстановления варьирует и зависит от продолжительности введения, глубины анестезии и индивидуальных фармакокинетических параметров. Дексмедетомидин обеспечивает седативный эффект посредством активации центральных α2-адренорецепторов и угнетения норадренергической активности голубого пятна ствола головного мозга. В отличие от пропофола, он не реализует основной седативный эффект через прямое усиление ГАМК-А-рецепторной активности. Сохранение относительно стабильной самостоятельной вентиляции делает дексмедетомидин привлекательным при операциях в сознании. Однако препарат не исключает риска гиповентиляции, особенно при сочетании с опиоидами или у пациентов с обструктивным апноэ сна. Ремифентанил представляет собой короткодействующий агонист μ-опиоидных рецепторов с быстрым метаболизмом эстеразами крови и тканей. Его применение позволяет управлять выраженностью ноцицептивных реакций, уменьшать потребность в гипнотических препаратах и обеспечивать относительно быстрое изменение глубины аналгезии. В то же время ремифентанил способен вызывать брадипноэ, апноэ, брадикардию и снижение артериального давления. Избыточное подавление дыхания сопровождается повышением концентрации углекислого газа, что потенциально изменяет церебральную сосудистую реактивность и физиологические условия операции. Ингаляционные анестетики, включая севофлуран и десфлуран, также применяются при DBS. Их влияние на нейрофизиологические сигналы зависит от концентрации и характеристик целевой структуры. Особое значение имеют поддержание стабильной концентрации анестетика и предотвращение выраженных колебаний глубины анестезии во время регистрации.

Таблица 2. Основные интраоперационные эффекты анестезиологических препаратов при DBS

Препарат	**Основной механизм**	**Нейрофизиологические особенности**	**Основные анестезиологические риски**
Пропофол	Усиление ГАМК-А-опосредованного торможения	Дозозависимое изменение частоты нейрональных разрядов и спектральной активности	Гипотензия, угнетение дыхания, изменение MER
Дексмедетомидин	Активация α2-адренорецепторов	Возможность управляемой седации, но сохранность MER зависит от дозы	Брадикардия, гипотензия, чрезмерная седация
Ремифентанил	Активация μ-опиоидных рецепторов	Снижение ноцицептивных реакций; возможное влияние на осцилляторную активность	Угнетение дыхания, брадикардия, гипотензия
Севофлуран	Многокомпонентное влияние на нейрональные рецепторы	Концентрационно-зависимое изменение нейрофизиологических сигналов	Гемодинамические и респираторные изменения
Десфлуран	Ингаляционный гипнотический эффект	Сохранение MER возможно при специально адаптированном режиме	Изменение артериального давления, реакции дыхательных путей
Бензодиазепины	Положительная модуляция ГАМК-А-рецепторов	Возможное подавление диагностически значимой импульсации	Длительная седация, угнетение дыхания, когнитивные эффекты
Местные анестетики	Блокада потенциалзависимых натриевых каналов	Косвенное улучшение качества регистрации за счёт уменьшения боли и движений	Системная токсичность при превышении допустимой дозы

Влияние анестезии на микроэлектродную регистрацию. Микроэлектродная регистрация является важным этапом DBS, позволяющим идентифицировать функциональные границы субталамического ядра и других подкорковых структур. В процессе продвижения микроэлектрода регистрируются нейрональные разряды, различающиеся по частоте, амплитуде, характеру пачечной активности и межимпульсным интервалам. Для количественной характеристики сигнала могут использоваться среднеквадратичная амплитуда сигнала (root mean square, RMS), частота разрядов (firing rate), индекс пачечной активности (burst index) и спектральная мощность отдельных частотных диапазонов. Интраоперационный анестезиологический план должен учитывать, что изменение нейрофизиологических параметров не всегда связано с перемещением микроэлектрода относительно хирургической мишени. Например, выраженное уменьшение активности нейронов может отражать фармакологическое подавление сигналов, а не истинный выход электрода за пределы субталамического ядра. Аналогичным образом изменение спектральной мощности медленных осцилляций на фоне пропофола не всегда следует интерпретировать как самостоятельный критерий правильности позиционирования электрода. В таких ситуациях нейрофизиологическая информация должна оцениваться совместно с данными анатомической навигации, характеристиками используемого

анестетика и текущей глубиной анестезии. Принципиально важно, чтобы изменение режима инфузии гипнотиков производилось не произвольно, а после предварительного согласования с нейрофизиологом и хирургом. Резкие колебания концентрации препаратов могут вызывать нестабильность сигналов и затруднять сопоставление последовательных записей.

Гемодинамическое обеспечение при имплантации электродов. Во время DBS системная гемодинамика представляет собой один из основных объектов непрерывного анестезиологического контроля. Пациенты с болезнью Паркинсона могут иметь выраженную вегетативную дисфункцию, вследствие которой компенсаторные реакции на изменение сосудистого тонуса оказываются недостаточными. На фоне пропофола, дексмедетомидина и опиоидных препаратов возможны снижение периферического сосудистого сопротивления, брадикардия и уменьшение системного артериального давления. Недостаточная аналгезия, особенно во время установки рамы и формирования трепанационного отверстия, напротив, может сопровождаться выраженной симпатической активацией. Внутричерепное кровоизлияние относится к наиболее серьёзным осложнениям DBS. Поэтому предотвращение выраженных гемодинамических колебаний имеет важное значение, хотя оптимальный целевой диапазон давления должен определяться индивидуально. При длительных вмешательствах и необходимости особенно точного контроля давления целесообразно рассматривать инвазивный артериальный мониторинг. В случае интраоперационной гипотензии необходимо оценивать глубину анестезии, наличие гиповолемии, характер сердечного ритма, возможное влияние медикаментозной терапии и другие причины нарушения системной перфузии. Лечение должно быть направлено на устранение установленного механизма гемодинамического нарушения, а не исключительно на коррекцию отдельных числовых показателей.

Респираторный мониторинг и контроль вентиляции. При проведении DBS в условиях седации основными респираторными угрозами являются обструкция верхних дыхательных путей, гиповентиляция, гипоксемия и гиперкапния. Фиксированное положение головы ограничивает возможности немедленного восстановления проходимости дыхательных путей стандартными манёврами. В результате даже относительно кратковременный эпизод выраженного нарушения вентиляции может потребовать прерывания нейрохирургического вмешательства. Ключевое значение имеет непрерывный контроль оксигенации, дыхательного паттерна и концентрации углекислого газа в выдыхаемом воздухе, если применяемая методика позволяет получать достоверную капнографическую кривую. Следует учитывать, что подача кислорода способна временно поддерживать нормальные показатели периферической сатурации даже при значительном снижении альвеолярной вентиляции. Поэтому пульсоксиметрия не должна рассматриваться как полноценная замена вентиляционного мониторинга. При общей анестезии необходимо поддерживать адекватный газообмен и избегать необоснованных выраженных изменений парциального давления углекислого газа. Гиперкапния вызывает церебральную вазодилатацию и может влиять на внутричерепные физиологические условия. При появлении затруднения вентиляции, нарастании гиперкапнии или признаков аспирации первоочередной задачей становится обеспечение жизненно важных функций, даже если это требует прекращения нейрофизиологического тестирования.

Регионарное обезболивание и уменьшение стрессовой реакции. Одним из перспективных направлений является использование блокады чувствительных нервов волосистой части головы в сочетании с местной инфильтрационной анестезией. Регионарное обезболивание способно уменьшать ноцицептивную импульсацию при установке стереотаксической рамы, разрезе кожи и трепанации. В отличие от системных гипнотиков, локальное обезболивание не вызывает сопоставимого прямого подавления функциональной активности подкорковых нейрональных структур. Адекватная регионарная аналгезия способствует уменьшению двигательных реакций, эмоционального напряжения и потребности в дополнительном введении седативных средств. Вместе с тем выбор местного анестетика, концентрации и суммарной дозы определяется индивидуально. Особое внимание необходимо уделять профилактике внутрисосудистого введения и системной токсичности.

Авторская поэтапная модель интраоперационного анестезиологического управления. На основании аналитического сопоставления нейрофизиологических и анестезиологических требований предложена модель I-DBS-AM, предусматривающая адаптацию глубины анестезии к этапам операции.

Таблица 3. Авторская модель I-DBS-AM: поэтапное интраоперационное анестезиологическое обеспечение DBS

Этап операции	Приоритет анестезиолога	Особенности анестезии	Основные контролируемые параметры
Стереотаксическая фиксация	Аналгезия и профилактика стрессовой реакции	Местная анестезия, регионарная блокада, индивидуальная седация	АД, ЧСС, боль, дыхание
Подготовка и трепанация	Гемодинамическая стабильность и неподвижность	Адекватная аналгезия, управляемая глубина гипноза	АД, ЧСС, SpO_2, вентиляция
Продвижение микроэлектродов	Сохранение информативности MER	Стабильный или специально адаптированный режим анестезии	Качество MER, параметры анестезии, АД
Функциональное тестирование	Оценка клинического ответа при необходимости	Снижение седации или сохранение сознания по протоколу	Контакт, дыхание, двигательные ответы
Окончательная фиксация электродов	Аналгезия и предотвращение двигательных реакций	Повторная адаптация глубины анестезии	Гемодинамика, вентиляция
Имплантация генератора	Полноценное хирургическое обезболивание	Общая анестезия либо иной заранее согласованный режим	АД, ЧСС, SpO_2, $EtCO_2$
Завершение операции	Безопасное восстановление сознания и дыхания	Контролируемое прекращение введения анестетиков	Дыхание, неврологический статус, гемодинамика

Интраоперационные осложнения и анестезиологическая тактика. Несмотря на относительно благоприятный профиль безопасности DBS, во время имплантации электродов возможно развитие осложнений, требующих немедленного взаимодействия нейрохирурга и анестезиолога. При возникновении интраоперационного судорожного приступа приоритетными задачами являются предупреждение вторичной травматизации, обеспечение оксигенации, контроль вентиляции и своевременное противосудорожное лечение. В условиях операции в сознании внезапное развитие генерализованной судорожной активности создаёт дополнительную опасность вследствие ограниченного доступа к дыхательным путям и фиксированного положения головы. Внутричерепное кровоизлияние может проявляться острым изменением неврологического статуса, нарушением сознания, судорожной активностью или гемодинамической нестабильностью. Однако при глубокой общей анестезии клинические признаки повреждения головного мозга могут быть скрыты. Поэтому при необъяснимом ухудшении физиологических параметров, появлении новой неврологической симптоматики после пробуждения либо подозрении на интракраниальное

осложнение необходимо своевременное нейровизуализационное обследование. Венозная воздушная эмболия представляет собой редкое, но потенциально опасное осложнение, связанное с попаданием воздуха в венозную систему. Её проявления могут включать внезапное снижение $EtCO_2$, гипоксемию, гипотензию, нарушения сердечного ритма, а у пациента в сознании - кашель, одышку и чувство дискомфорта. Анестезиологическая тактика определяется клинической тяжестью осложнения и включает немедленное информирование хирургической команды, прекращение дальнейшего поступления воздуха, респираторную и гемодинамическую поддержку.

Таблица 4. Интраоперационные осложнения DBS и основные направления анестезиологического реагирования

Осложнение	**Возможные проявления**	**Первоочередная анестезиологическая тактика**
Обструкция дыхательных путей	Снижение вентиляции, храпящее дыхание, десатурация	Прекращение углубления седации, восстановление проходимости дыхательных путей
Гиперкапния	Рост $EtCO_2$, изменения дыхательного паттерна	Оценка альвеолярной вентиляции, коррекция дыхательной поддержки
Артериальная гипотензия	Снижение АД, признаки гипоперфузии	Выявление причины, коррекция глубины анестезии и гемодинамическая поддержка
Артериальная гипертензия	Выраженное повышение АД, тахикардия	Оценка боли, тревоги, вентиляции и необходимости антигипертензивной терапии
Судорожный приступ	Непроизвольные движения, нарушение сознания	Безопасность дыхательных путей, противосудорожная терапия, оценка причины
Внутричерепное кровоизлияние	Новая неврологическая симптоматика, судороги, нарушение сознания	Стабилизация витальных функций, срочная нейрохирургическая оценка
Венозная воздушная эмболия	Снижение $EtCO_2$, гипоксемия, гипотензия	Прекращение поступления воздуха, оксигенация, гемодинамическая поддержка
Чрезмерная седация	Утрата контакта, гиповентиляция	Снижение или прекращение введения седативных средств, поддержка дыхания
Непереносимость операции в сознании	Выраженная тревога, двигательные реакции	Коррекция аналгезии, оценка необходимости изменения метода анестезии

Обсуждение. Проведённый анализ свидетельствует о том, что интраоперационная анестезия при DBS существенно отличается от стандартного анестезиологического сопровождения большинства плановых нейрохирургических вмешательств. Её главной особенностью является необходимость сохранения баланса между адекватной анестезиологической защитой пациента и функциональной активностью нейрональных систем, участвующих в стереотаксической навигации. В опубликованных клинических исследованиях неоднократно подчёркивалось, что влияние анестетиков на микроэлектродную регистрацию зависит от используемого препарата, его дозы, продолжительности введения и анатомической мишени. Следовательно, интерпретация нейрофизиологических сигналов должна производиться с учётом текущего анестезиологического режима [5, 6, 7, 8]. Одним из наиболее показательных исследований является работа Raz и соавторов, опубликованная в 2010 году. Авторы изучили влияние пропофола на спонтанную нейрональную активность субталамического ядра у пациентов с

болезнью Паркинсона. Во время введения препарата среднеквадратичная амплитуда регистрируемой активности в среднем снижалась на 23,2%, а восстановление исходных характеристик после прекращения инфузии наблюдалось приблизительно через 9,3 минуты. Эти результаты подтверждают возможность фармакологической модификации диагностически значимых электрофизиологических сигналов [9].

Однако последующие исследования показали, что изменения нейрональной активности на фоне пропофола имеют более сложный характер. Jiang и соавторы установили увеличение спектральной мощности низкочастотных осцилляций при оптимизированной пропофоловой анестезии без значимых различий по некоторым характеристикам импульсации. Таким образом, изменение спектральных показателей не обязательно сопровождается полной утратой диагностической информативности микроэлектродной регистрации [10]. Особый интерес представляют результаты исследования Issabekov и соавторов, опубликованного в 2026 году. В работе был выполнен анализ 583 микроэлектродных записей, полученных при DBS в условиях местной и общей анестезии. Продемонстрировано, что глубокая пропофоловая анестезия может затруднять определение дорсальной границы субталамического ядра. При этом на фоне более высоких скоростей инфузии пропофола наблюдались изменения характеристик окончательного позиционирования электродов. Авторы отметили потенциальную информативность индекса пачечной активности при анализе сигналов, модифицированных действием анестетика [11]. Следовательно, оптимизация пропофоловой анестезии должна быть направлена не только на достижение достаточной глубины гипноза, но и на предупреждение чрезмерного подавления диагностически значимой нейрональной активности. При этом конкретные режимы дозирования нельзя механически переносить из отдельных исследований на всех пациентов. Значительное внимание в современной литературе уделяется дексмедетомидину. Mathews и соавторы показали возможность его применения во время микроэлектродной регистрации субталамического ядра, однако влияние препарата на параметры сигнала требует учёта глубины седации. Аналогичные вопросы рассматривались Kwon и соавторами при использовании методики седации с пробуждением во время функционального картирования [12, 13].

Практическое значение имеет возможность комбинирования системных препаратов с регионарными методами аналгезии. При эффективном обезболивании кожи головы уменьшается потребность в дополнительных гипнотических средствах, что потенциально позволяет ограничить лекарственное влияние на нейрофизиологические сигналы. В 2025 году Xie и соавторы опубликовали результаты исследования блокады нервов скальпа у пациентов, перенёсших DBS. При сравнении модифицированного регионарного обезболивания с традиционной местной инфильтрацией были отмечены улучшение переносимости операции, повышение стабильности электрофизиологической регистрации и более высокая удовлетворённость пациентов. При этом исследование имело наблюдательный характер, что не позволяет полностью исключить влияние сопутствующих факторов [26]. Важнейшее направление дискуссии связано с возможностью проведения DBS под общей анестезией при сохранении микроэлектродного контроля. Vesper и соавторы описали адаптированный режим общей анестезии с использованием пропофола и ремифентанила, при котором снижение глубины анестезии на этапе функционального картирования позволяло получать информативные микроэлектродные записи. Клинические результаты в изученных группах оказались сопоставимыми, однако наблюдательный дизайн требует осторожности при интерпретации причинно-следственных связей [14].

Принципиально новые данные были представлены в рандомизированном исследовании CHAMPION. В работе сравнивались общая анестезия с использованием десфлурана и контролируемая седация дексмедетомидином. В исследование были рандомизированы 188 пациентов, а частота высококачественных микроэлектродных записей составила 89,4% в группе общей анестезии и 90,3% в группе седации. Различие соответствовало заранее установленным критериям не меньшей эффективности общей анестезии. Продолжительность операции при использовании десфлурана была в среднем на

9,07 минуты меньше [15]. Эти данные имеют существенное значение для современной нейроанестезиологии, поскольку демонстрируют возможность проведения полноценной микроэлектродной регистрации при общей анестезии в условиях специально адаптированного протокола. Вместе с тем полученные результаты относятся к конкретным условиям исследования и не подтверждают универсальную эквивалентность всех ингаляционных анестетиков. В исследовании GALAXY также не было выявлено статистически значимых различий между операцией в сознании и общей анестезией по комбинированному показателю когнитивных, эмоциональных и поведенческих нежелательных исходов. У 110 рандомизированных пациентов отмечалась сопоставимая степень улучшения моторной симптоматики, тогда как общая анестезия сопровождалась меньшей субъективной тяжестью вмешательства и сокращением продолжительности операции [16]. Полученные результаты согласуются с систематическим обзором Lim и соавторов, включившим 19 исследований и 1900 пациентов. Авторы не установили убедительных доказательств абсолютного преимущества одной анестезиологической методики по основным клиническим исходам [17].

Более масштабный метаанализ Maroufi и соавторов, включивший 31 исследование с участием 2563 пациентов, также подтвердил сопоставимость моторных результатов при операциях в сознании и под общей анестезией. При этом структура отдельных осложнений различалась между группами. Следовательно, сравнение безопасности должно учитывать не только суммарную частоту неблагоприятных исходов, но и характер хирургических технологий [18]. Ранее Ho и соавторы отмечали различия в частоте некоторых хирургических осложнений и количестве проходов электродов. Однако подобные наблюдения могли зависеть от неоднородности хирургических методов, особенностей отбора пациентов и различий между центрами [19].

Систематический обзор Sheshadri и соавторов также подтвердил необходимость осторожной интерпретации сравнительных исследований, поскольку многие из них имели ретроспективный характер и различались по используемым анестезиологическим и нейрохирургическим протоколам [20]. Клинические исследования Brodsky и Chen продемонстрировали, что DBS под общей анестезией с применением интраоперационной нейровизуализации может обеспечивать моторные и функциональные результаты, сопоставимые с традиционными вмешательствами в сознании. Однако указанные результаты не следует напрямую переносить на операции с обязательным интраоперационным клиническим тестированием [21, 22]. Аналогичные вопросы рассматривались в рандомизированном исследовании Engelhardt и соавторов, а также в последующих клинических сериях Roldán и Garcia-Orellana. Эти работы указывают на практическую осуществимость DBS под общей анестезией, одновременно подчёркивая значение опыта команды, точности навигации и стандартизации хирургических процедур [23, 24, 25]. Особую роль играет применение ремифентанила. Исследование Huang и соавторов, опубликованное в 2025 году, показало, что добавление ремифентанила к ингаляционной анестезии может улучшать гемодинамическую управляемость при DBS. При этом были выявлены изменения спектральных характеристик отдельных нейрональных осцилляций, что подтверждает необходимость осторожного использования термина «электрофизиологически нейтральный препарат» [27]. Дополнительный интерес представляет исследование Lettieri и соавторов, в котором сравнивалась активность субталамического ядра при местной и общей анестезии. Авторы продемонстрировали возможность сохранения информативных нейрофизиологических параметров при использовании специально подобранной схемы на основе кетамина и ремифентанила, хотя небольшая выборка ограничивала обобщаемость результатов [28].

Важным фактором остаётся сопутствующая патология. При болезни Паркинсона выраженная автономная дисфункция, нарушение глотания, гастропарез, респираторные расстройства и моторные флуктуации могут существенно изменять реакции на анестезию. Yim и соавторы подчёркивают необходимость комплексного периоперационного подхода, направленного на предотвращение лекарственных осложнений и своевременное

восстановление противопаркинсонической терапии [29]. Zech и Sinner обращают особое внимание на риск тяжёлых осложнений при длительном прекращении дофаминергической терапии, включая акинетический криз. В условиях DBS проблема приобретает дополнительную сложность, поскольку временное ограничение противопаркинсонических препаратов иногда требуется для функционального тестирования. В связи с этим режим их приёма должен согласовываться заранее и пересматриваться непосредственно после завершения соответствующего хирургического этапа [30]. Респираторная безопасность является самостоятельным критерием выбора анестезиологической методики. Международные рекомендации по обеспечению трудных дыхательных путей предусматривают предварительную оценку вероятности неудачной вентиляции и интубации, а также наличие резервных методов респираторной поддержки. При DBS данные требования усиливаются вследствие стереотаксической фиксации головы [31].

Необходимо также учитывать потенциально повышенный риск аспирации при дисфагии и гастропарезе. Современные рекомендации по предоперационному голоданию в основном ориентированы на пациентов без значительного нарушения желудочного опорожнения. Следовательно, наличие выраженной гастроинтестинальной дисфункции требует индивидуального подхода [32]. Профилактика послеоперационной тошноты и рвоты приобретает дополнительное значение у пациентов с болезнью Паркинсона, поскольку применение некоторых антиэметиков с центральным антидофаминергическим действием может усугублять экстрапирамидные нарушения. Рациональный выбор противорвотной терапии должен учитывать как общие рекомендации, так и неврологические особенности пациента [33]. Предупреждение послеоперационного делирия требует контроля физиологических нарушений, адекватной аналгезии, ограничения необоснованной глубокой седации и раннего выявления когнитивных изменений. Современные рекомендации Европейского общества анестезиологии и интенсивной терапии подчёркивают значение многофакторной профилактики делирия у пациентов с повышенным риском [34]. К числу относительно редких осложнений DBS относится венозная воздушная эмболия. Deogaonkar и соавторы описали эпизод воздушной эмболии во время операции у пациента в сознании, проявившийся кашлем, тахипноэ и гипоксемией. Данный случай подчёркивает необходимость постоянной оценки дыхательной и гемодинамической динамики даже при сохранённом сознании пациента [35].

Другим значимым фактором является формирование внутричерепного воздуха. В исследовании Ko и соавторов было показано, что определённые методы DBS под общей анестезией могут сопровождаться меньшим объёмом пневмоцефалии по сравнению с традиционной техникой в сознании. Однако подобные различия в значительной степени зависят от хирургического протокола и условий имплантации, а не только от метода анестезии [36]. Международное исследование процедурных этапов DBS, проведённое Abosch и соавторами, продемонстрировало значительную вариабельность хирургической организации между специализированными центрами. Данная неоднородность подтверждает необходимость адаптации анестезиологического обеспечения к конкретной технологии вмешательства и доступным методам нейрофизиологического контроля [37]. Более поздний метаанализ Wang и Tian также не выявил убедительного преимущества одной из двух основных стратегий по ключевым моторным результатам. Авторы подчеркнули, что выбор между операцией в сознании и под общей анестезией должен учитывать индивидуальные особенности пациента и доступность интраоперационной нейровизуализации [38].

Предлагаемая модель I-DBS-AM основывается на объединении указанных клинических и нейрофизиологических факторов. Её основным отличием является рассмотрение анестезии как поэтапно изменяемого процесса, при котором интенсивность гипнотического и анальгетического воздействия адаптируется к хирургической задаче. При этом следует подчеркнуть, что авторская модель пока не прошла клинической валидации. Её практическая эффективность должна оцениваться в проспективных исследованиях с использованием стандартизированных показателей респираторной безопасности, гемодинамической стабильности, качества микроэлектродных сигналов и частоты

интраоперационных осложнений. Перспективным направлением дальнейших исследований является интеграция данных мониторинга глубины анестезии, фармакокинетических моделей препаратов и количественных характеристик нейрофизиологических сигналов. Подобный подход может позволить более точно оценивать связь между концентрацией анестетика, активностью подкорковых нейрональных структур и функциональной информативностью хирургической навигации.

Заключение. Интраоперационное анестезиологическое обеспечение глубокой стимуляции головного мозга характеризуется необходимостью одновременного решения задач физиологической защиты пациента и сохранения условий для высокоточной функциональной нейрохирургии. Пропофол, дексмедетомидин, ремифентанил и ингаляционные анестетики обладают различными фармакодинамическими характеристиками, которые необходимо учитывать при выполнении микроэлектродной регистрации и клинического тестирования. Выбор между операцией в сознании, контролируемой седацией и общей анестезией должен определяться индивидуально с учётом неврологического статуса, особенностей анатомической мишени, требований нейрофизиологического мониторинга и необходимости контроля дыхательных путей. Особое значение имеют поддержание гемодинамической стабильности, предотвращение гипоксемии и гиперкапнии, адекватное регионарное обезболивание и своевременное распознавание интраоперационных осложнений. Предложенная авторская модель I-DBS-AM предусматривает поэтапную адаптацию анестезиологического обеспечения к хирургическим и нейрофизиологическим задачам. Её дальнейшая клиническая валидация может способствовать стандартизации анестезиологического сопровождения DBS и совершенствованию междисциплинарного взаимодействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Armstrong M.J., Okun M.S. Diagnosis and Treatment of Parkinson Disease: A Review. *JAMA*. 2020;323(6):548–560. DOI: 10.1001/jama.2019.22360.
2. Lozano A.M., Lipsman N., Bergman H., et al. Deep brain stimulation: current challenges and future directions. *Nature Reviews Neurology*. 2019;15(3):148–160. DOI: 10.1038/s41582-018-0128-2.
3. Krauss J.K., Lipsman N., Aziz T., et al. Technology of deep brain stimulation: current status and future directions. *Nature Reviews Neurology*. 2021;17(2):75–87. DOI: 10.1038/s41582-020-00426-z.
4. Lang A.E., Houeto J.L., Krack P., et al. Deep brain stimulation: preoperative issues. *Movement Disorders*. 2006;21(Suppl 14)–S196. DOI: 10.1002/mds.20955.
5. Poon C.C.M., Irwin M.G. Anaesthesia for deep brain stimulation and in patients with implanted neurostimulator devices. *British Journal of Anaesthesia*. 2009;103(2):152–165. DOI: 10.1093/bja/aep179.
6. Grant R., Gruenbaum S.E., Gerrard J. Anaesthesia for deep brain stimulation: a review. *Current Opinion in Anaesthesiology*. 2015;28(5):505–510. DOI: 10.1097/ACO.0000000000000230.
7. Sahinovic M.M., Absalom A.R., Adapa R. Movement disorder surgery part 2: anaesthetic techniques. *BJA Education*. 2024;24(10):381–388. DOI: 10.1016/j.bjae.2024.06.003.
8. Bos M.J., Buhre W., Temel Y., et al. Effect of Anesthesia on Microelectrode Recordings During Deep Brain Stimulation Surgery: A Narrative Review. *Journal of Neurosurgical Anesthesiology*. 2021;33(4):300–307. DOI: 10.1097/ANA.0000000000000673.
9. Raz A., Eimerl D., Zaidel A., Bergman H., Israel Z. Propofol decreases neuronal population spiking activity in the subthalamic nucleus of Parkinsonian patients. *Anesthesia & Analgesia*. 2010;111(5):1285–1289. DOI: 10.1213/ANE.0b013e3181f565f2.
10. Jiang N., Ling Y.T., Yang C., et al. Optimized Propofol Anesthesia Increases Power of Subthalamic Neuronal Activity in Patients with Parkinson's Disease Undergoing Deep Brain Stimulation. *Neurology and Therapy*. 2021;10(2):785–802. DOI: 10.1007/s40120-021-00259-y.

11. Issabekov G., Al-Fatly B., Mousavi M., et al. The graded effect of propofol in electrophysiology-guided navigation during deep brain stimulation surgery. *npj Parkinson's Disease*. 2026;12:64. DOI: 10.1038/s41531-025-01243-1.
12. Mathews L., Camalier C.R., Kla K.M., et al. The Effects of Dexmedetomidine on Microelectrode Recordings of the Subthalamic Nucleus during Deep Brain Stimulation Surgery: A Retrospective Analysis. *Stereotactic and Functional Neurosurgery*. 2017;95(1):40–48. DOI: 10.1159/000453326.
13. Kwon W.K., Kim J.H., Lee J.H., et al. Microelectrode recording findings during sleep-awake anesthesia using dexmedetomidine in deep brain stimulation surgery for Parkinson's disease. *Clinical Neurology and Neurosurgery*. 2016;143:27–33. DOI: 10.1016/j.clineuro.2016.02.005.
14. Vesper J., Mainzer B., Senemmar F., et al. Anesthesia for deep brain stimulation system implantation: adapted protocol for awake and asleep surgery using microelectrode recordings. *Acta Neurochirurgica*. 2022;164(4):1175–1182. DOI: 10.1007/s00701-021-05108-3.
15. Xie S., Shi L., Xiong W., et al. Choice of Anesthesia in Microelectrode Recording-guided Deep Brain Stimulation Surgery for Parkinson's Disease (CHAMPION): A Noninferiority Randomized Controlled Trial. *Anesthesiology*. 2026;145(4):927–941. DOI: 10.1097/ALN.0000000000006133.
16. Holewijn R.A., Verbaan D., van den Munckhof P.M., et al. General Anesthesia vs Local Anesthesia in Microelectrode Recording-Guided Deep-Brain Stimulation for Parkinson Disease: The GALAXY Randomized Clinical Trial. *JAMA Neurology*. 2021;78(10):1212–1219. DOI: 10.1001/jamaneurol.2021.2979.
17. Lim M.L., Zhan A.B.B., Liu S.J., et al. Awake versus Asleep Anesthesia in Deep Brain Stimulation Surgery for Parkinson's Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Stereotactic and Functional Neurosurgery*. 2024;102(3):141–155. DOI: 10.1159/000536310.
18. Maroufi S.F., Fallahi M.S., Hosseinzadeh Asli S., et al. Awake versus asleep deep brain stimulation for Parkinson's disease: a comprehensive systematic review and meta-analysis. *Journal of Neurosurgery*. 2025;142(2):324–338. DOI: 10.3171/2024.4.JNS232553.
19. Ho A.L., Ali R., Connolly I.D., et al. Awake versus asleep deep brain stimulation for Parkinson's disease: a critical comparison and meta-analysis. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*. 2018;89(7):687–691. DOI: 10.1136/jnnp-2016-314500.
20. Sheshadri V., Rowland N.C., Mehta J., et al. Comparison of General and Local Anesthesia for Deep Brain Stimulator Insertion: A Systematic Review. *Canadian Journal of Neurological Sciences*. 2017;44(6):697–704. DOI: 10.1017/cjn.2017.224.
21. Brodsky M.A., Anderson S., Murchison C., et al. Clinical outcomes of asleep vs awake deep brain stimulation for Parkinson disease. *Neurology*. 2017;89(19):1944–1950. DOI: 10.1212/WNL.0000000000004630.
22. Chen T., Mirzadeh Z., Chapple K.M., et al. Clinical outcomes following awake and asleep deep brain stimulation for Parkinson disease. *Journal of Neurosurgery*. 2019;130(1):109–120. DOI: 10.3171/2017.8.JNS17883.
23. Engelhardt J., Caire F., Damon-Perrière N., et al. A Phase 2 Randomized Trial of Asleep versus Awake Subthalamic Nucleus Deep Brain Stimulation for Parkinson's Disease. *Stereotactic and Functional Neurosurgery*. 2021;99(3):230–240. DOI: 10.1159/000511424.
24. Roldán P., Mosteiro A., Rumià Arboix J., et al. Subthalamic Deep Brain Stimulation under General Anaesthesia for Parkinson's Disease: Institutional Experience and Outcomes. *Stereotactic and Functional Neurosurgery*. 2025;103(2):102–110. DOI: 10.1159/000542791.
25. Garcia-Orellana M., Maldonado F., Hurtado P., et al. Deep brain stimulation under general anaesthesia for Parkinson's disease: A retrospective evaluation of perioperative events and anaesthetic management after switching away from conscious sedation. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*. 2025;69(4). DOI: 10.1111/aas.70017.
26. Xie S., Liu Y., Yang A., et al. Scalp block improves electrophysiological stability and patient cooperation during deep brain stimulation surgery. *Scientific Reports*. 2025;15:12596. DOI: 10.1038/s41598-025-97141-w.

27. Huang P.H., Chen S.Y., Wang J.H., Pan Y.S., Lin S.H. Remifentanil stabilizes hemodynamics with modulating subthalamic beta oscillation during deep brain stimulation. *Brain Research Bulletin*. 2025;224:111310. DOI: 10.1016/j.brainresbull.2025.111310.
28. Lettieri C., Rinaldo S., Devigili G., et al. Deep brain stimulation: Subthalamic nucleus electrophysiological activity in awake and anesthetized patients. *Clinical Neurophysiology*. 2012;123(12):2406–2413. DOI: 10.1016/j.clinph.2012.04.027.
29. Yim R.L.H., Leung K.M.M., Poon C.C.M., Irwin M.G. Peri-operative management of patients with Parkinson's disease. *Anaesthesia*. 2022;77(Suppl 1):123–133. DOI: 10.1111/anae.15617.
30. Zech N., Sinner B. Anaesthesia and Perioperative Management for Patients with Parkinson's Disease. *Anästhesiologie, Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerztherapie*. 2022;57(9):578–586. DOI: 10.1055/a-1404-2154.
31. Apfelbaum J.L., Hagberg C.A., Connis R.T., et al. 2022 American Society of Anesthesiologists Practice Guidelines for Management of the Difficult Airway. *Anesthesiology*. 2022;136(1):31–81. DOI: 10.1097/ALN.0000000000004002.
32. Joshi G.P., Abdelmalak B.B., Weigel W.A., et al. 2023 American Society of Anesthesiologists Practice Guidelines for Preoperative Fasting. *Anesthesiology*. 2023;138(2):132–151. DOI: 10.1097/ALN.0000000000004381.
33. Gan T.J., Belani K.G., Bergese S., et al. Fourth Consensus Guidelines for the Management of Postoperative Nausea and Vomiting. *Anesthesia & Analgesia*. 2020;131(2):411–448. DOI: 10.1213/ANE.0000000000004833.
34. Aldecoa C., Bettelli G., Bilotta F., et al. Update of the European Society of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine evidence-based and consensus-based guideline on postoperative delirium in adult patients. *European Journal of Anaesthesiology*. 2024;41(2):81–108. DOI: 10.1097/EJA.0000000000001876.
35. Deogaonkar A., Avitsian R., Henderson J.M., Schubert A. Venous air embolism during deep brain stimulation surgery in an awake supine patient. *Stereotactic and Functional Neurosurgery*. 2005;83(1):32–35. DOI: 10.1159/000085024.
36. Ko A.L., Magown P., Ozpinar A., Hamzaoglu V., Burchiel K.J. Asleep Deep Brain Stimulation Reduces Incidence of Intracranial Air during Electrode Implantation. *Stereotactic and Functional Neurosurgery*. 2018;96(2):83–90. DOI: 10.1159/000488150.
37. Abosch A., Timmermann L., Bartley S., et al. An international survey of deep brain stimulation procedural steps. *Stereotactic and Functional Neurosurgery*. 2013;91(1):1–11. DOI: 10.1159/000343207.
38. Wang X., Tian L. Asleep versus awake deep brain stimulation in the treatment of Parkinson disease: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Neurology*. 2025;272(8):525. DOI: 10.1007/s00415-025-13264-0.