DOI 10.37469/0507-3758-2026-72-5-2875

Вопросы онкологии, 2026. Том 72, № 5
УДК 615.849
DOI 10.37469/0507-3758-2026-72-5-2875

© *С.М. Банов[1,5], С.Р. Ильялов[2,5], П.И. Иванов[4], Е.Р. Ветлова[3], Н.А. Антипина[3], Р.Р. Файзуллин[5]*

Терминология стереотаксического облучения

[1]Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н.Н. Блохина» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Российская Федерация
[2]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Российская Федерация
[3]Федеральное государственное автономное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Российская Федерация
[4]Медицинский институт Березина Сергея (ООО «ЛДЦ МИБС»), Санкт-Петербург, Российская Федерация
[5]Центр лучевой терапии «ОнкоСтоп» (ООО «ОнкоСтоп»), Москва, Российская Федерация

© *Sergey M. Banov[1,5], Sergey R. Ilyalov[2,5], Pavel I. Ivanov[4], Elena R. Vetlova[3], Natalia A. Antipina[3], Rafael R. Fayzulin[5]*

Terminology Of Stereotactic Irradiation

[1]N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, the Russian Federation
[2]Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, the Russian Federation
[3]N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, the Russian Federation
[4]Sergey Berezin Medical Institute (LDC MIBS LLC), Saint Petersburg, the Russian Federation
[5]OncoStop Radiation Therapy Center (OncoStop LLC), Moscow, the Russian Federation

В обзоре систематизирована терминология стереотаксического облучения на основе сопоставления исторических, клинических, физико-дозиметрических и административно-регуляторных определений. Работа выполнена как нарративный обзор с элементами сравнительного терминологического анализа; рассмотрены документы ASTRO, ACR, AAPM, AANS/CNS, ICRU, DEGRO/DGMP и ISRS, а для количественной характеристики распространенности отдельных критериев использованы данные систематического обзора 51 публикации. Установлено, что определения стереотаксической радиохирургии и радиотерапии различаются по анатомической локализации, числу фракций, дозовым критериям и назначению регламентирующих документов. Общими признаками являются точная пространственная локализация мишени, воспроизводимость позиционирования, высокая конформность дозового распределения, крутой дозовый градиент и контроль геометрических неопределенностей. В качестве базовой категории предложен термин «стереотаксическое облучение», объединяющий интракраниальную стереотаксическую радиохирургию, фракционированную интракраниальную и экстракраниальную стереотаксическую радиотерапию. Унификация терминологии должна сочетать анатомические, фракционные и физико-технические критерии и сопровождаться стандартизированным описанием лечебного протокола.

Ключевые слова: стереотаксическое облучение; стереотаксическая радиохирургия; фракционированная стереотаксическая радиотерапия; экстракраниальная стереотаксическая радиотерапия

This review systematizes the terminology of stereotactic irradiation by comparing historical, clinical, physical-dosimetric, and administrative-regulatory definitions. A narrative review with elements of comparative terminological analysis was performed. Documents issued by ASTRO, ACR, AAPM, AANS/CNS, ICRU, DEGRO/DGMP, and ISRS were analyzed, and data from a systematic review of 51 publications were used to quantify the prevalence of individual criteria. Definitions of stereotactic radiosurgery and radiotherapy differed in anatomical scope, fractionation, dose criteria, and the purpose of the governing documents. Shared features included precise spatial target localization, reproducible positioning, high dose conformity, a steep dose gradient, and control of geometric uncertainties. “Stereotactic irradiation” is proposed as an overarching term encompassing intracranial stereotactic radiosurgery, fractionated intracranial stereotactic radiotherapy, and extracranial stereotactic body radiotherapy. Terminological harmonization should integrate anatomical, fractionation, and physical-technical criteria and should be accompanied by standardized reporting of the treatment protocol.

Keywords: stereotactic irradiation; stereotactic radiosurgery; fractionated stereotactic radiotherapy; stereotactic body radiotherapy; stereotactic ablative radiotherapy

Для цитирования: Банов С.М., Ильялов С.Р., Иванов П.И., Ветлова Е.Р., Антипина Н.А., Файзуллин Р.Р. Терминология стереотаксического облучения. *Вопросы онкологии*. 2026; 72(5): 1252–1261.-DOI: 10.37469/0507-3758-2026-72-5-2875

For Citation: Sergey M. Banov, Sergey R. Ilyalov, Pavel I. Ivanov, Elena R. Vetlova, Natalia A. Antipina, Rafael R. Fayzulin. Terminology of stereotactic irradiation. *Voprosy Onkologii = Problems in Oncology*. 2026; 72(5): 1252–1261.-DOI: 10.37469/0507-3758-2026-72-5-2875

✉ Контакты: Банов Сергей Михайлович, smbanov@gmail.com

Введение

Развитие стереотаксических методов стало важным этапом эволюции нейрохирургии и радиационной онкологии. Концептуальные основы пространственного стереотаксиса были заложены в начале XX в., когда был разработан специализированный аппарат для прецизионных нейрохирургических вмешательств на животных. Ключевым нововведением стала трехмерная координатная система, связанная с костными ориентирами черепа и обеспечившая воспроизводимую локализацию глубинных мишеней. Возможность проекции внешних геометрических координат во внутреннее анатомическое пространство легла в основу последующих медицинских стереотаксических систем [1].

В 1951 г. шведский нейрохирург L. Leksell сформулировал концепцию стереотаксической радиохирургии как неинвазивного метода функциональной нейрохирургии. Метод предполагал подведение за один сеанс высокой дозы ионизирующего излучения к четко локализованной интракраниальной мишени. Безопасность воздействия обеспечивалась высокой механической точностью наведения и крутым снижением дозы за пределами мишени, что позволяло локализовать радионекроз или функциональный блок в пределах таргетного объема и минимизировать повреждение прилежащих интактных тканей мозга [2].

На протяжении длительного времени стереотаксическая радиохирургия применялась преимущественно для интракраниальных мишеней с использованием инвазивной рамочной фиксации. Внедрение линейных ускорителей, безрамных систем иммобилизации и современных методов визуального наведения изменило технологическую парадигму. Современное понятие стереотаксической радиохирургии не предполагает обязательной жесткой рамочной фиксации, поскольку безрамные системы с визуальным контролем могут обеспечивать сопоставимую геометрическую точность и воспроизводимость позиционирования мишени [3].

В 1990–2000 гг. принципы стереотаксического облучения были распространены на экстракраниальные локализации. H. Blomgren и соавт. продемонстрировали техническую реализуемость и клиническую эффективность гипофракционированного стереотаксического облучения экстракраниальных опухолей на линейном ускорителе [4]. Одновременно A. Hamilton и соавт. выполнили стереотаксическое облучение метастатических поражений позвоночника, расположенных в непосредственной близости от спинного мозга [5]. Эти исследования заложили основу экстракраниальной стереотаксической радиотерапии.

В последующие десятилетия стереотаксические методы эволюционировали от инструмента функциональной нейрохирургии до комплекса технологий высокоточной дистанционной радиотерапии интракраниальных и экстракраниальных мишеней. Расширение клинических показаний, разнообразие технологических платформ и вариабельность режимов фракционирования привели к терминологической неоднородности. Расхождения определений связаны с различной трактовкой анатомической локализации мишени, числа фракций, дозовой стратегии и требований к точности локализации и доставки дозы [6].

Цель работы — систематизировать терминологию стереотаксического облучения посредством сопоставительного анализа исторических, клинических, физико-дозиметрических и административно-регуляторных подходов к определению вариантов стереотаксиса и обосновать предложения для формирования унифицированного глоссария.

Материалы и методы

Работа выполнена в формате нарративного обзора с элементами сравнительного терминологического анализа. Целенаправленно отобраны исторические публикации, а также консенсусные и нормативно-методические документы, определяющие терминологию, границы применения понятий и критерии классификации стереотаксического облучения. В анализ включены документы Американского общества радиационной онкологии (American Society for Radiation Oncology, ASTRO), Американского колледжа радиологии (American College of Radiology, ACR), Американской ассоциации медицинских физиков (American Association of Physicists in Medicine, AAPM), Американской ассоциации нейрохирургов и Конгресса нейрохирургов (American Association of Neurological Surgeons / Congress of Neurological Surgeons, AANS/CNS), Международной комиссии по радиационным едини-

цам и измерениям (International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU), Немецкого общества радиационной онкологии и Немецкого общества медицинской физики (German Society for Radiation Oncology / German Society for Medical Physics, DEGRO/DGMP), Международного общества стереотаксической радиохирургии (International Stereotactic Radiosurgery Society, ISRS).

Источники отобраны с учетом их роли в формировании терминологического аппарата. Анализ ограничен определениями, критериями классификации, требованиями к описанию методов и переводом международных терминов на русский язык. Для количественной характеристики распространенности отдельных критериев стереотаксического облучения дополнительно использованы данные систематического обзора Ł. Kuncman и соавт., в котором обобщены определения, кадровые и технологические требования. Этот обзор рассматривали как вторичный источник, тогда как содержательную интерпретацию терминов основывали на первичных документах профессиональных обществ [6].

Выводы терминологического анализа относятся только к стереотаксическим методам, реализуемым с использованием ионизирующего излучения. Клиническую эффективность, сравнительную безопасность и оптимальные режимы фракционирования не оценивали.

Результаты

Сравнительный анализ вариантов терминологии стереотаксического облучения

Современные варианты стереотаксического облучения классифицируются по-разному в зависимости от назначения конкретного регламентирующего документа. Терминологические расхождения между профессиональными обществами во многом связаны с клинической, физико-дозиметрической или административной направленностью соответствующих рекомендаций [7–13].

Интракраниальная стереотаксическая радиохирургия и радиотерапия

В классической трактовке, представленной в AAPM Report No. 54, ICRU Report 91 и консенсусе DEGRO/DGMP, термин «стереотаксическая радиохирургия» (*stereotactic radiosurgery*, SRS) определяется сочетанием двух обязательных признаков: интракраниальной локализации мишени и доставки дозы за одну фракцию [7–9, 14].

Типовая политика ASTRO определяет SRS как отдельную дисциплину, использующую генерируемое внешним источником ионизирующее излучение для абляции или эрадикации четко определенных интракраниальных мишеней без хирургического разреза. К SRS относят облучение за одну фракцию, а также краниальную стереотаксическую радиотерапию за две-пять фракций, выполняемую со стереотаксическим наведением и точностью позиционирования около 1 мм. SRS сочетает высокую анатомическую точность и воспроизводимость наведения с подведением высоких доз излучения, обеспечивая аблативное воздействие на мишень при минимизации облучения прилежащих тканей. Термин «стереотаксический» означает локализацию мишени в референсной трехмерной системе координат, обеспечивающей высокую степень анатомической точности [15].

Сходное определение предложено рабочей группой AANS/CNS под руководством G. Barnett и соавт., согласованного с представителями ASTRO. В нем SRS определяется как применение внешнего ионизирующего излучения для инактивации или эрадикации четко локализованной мишени в области головы или позвоночника без хирургического разреза. Метод предполагает стереотаксическую визуализацию и обычно проводится за один сеанс, но допускает разделение курса не более чем на пять сеансов [10].

Расширенное толкование SRS отражает технологическую эволюцию метода и особенности нормативно-административного регулирования. Типовая политика ASTRO разработана для определения условий страхового покрытия и использует систему кодирования Current Procedural Terminology, в которой интракраниальное стереотаксическое лечение ограничено пятью фракциями. Следовательно, указанная граница имеет административно-организационное, а не универсальное клиническое значение [15].

В рекомендациях ISRS разграничение SRS и гипофракционированной стереотаксической радиохирургии (*hypofractionated stereotactic radiosurgery*, HFSRS) основано на режиме фракционирования: SRS определяется как локальное облучение за одну фракцию, а HFSRS — за двепять фракций. В рамках данного документа к HFSRS относили режимы с дозой не менее 5 Гр за фракцию [16].

Европейский подход, представленный ICRU Report 91 и консенсусом DEGRO/DGMP, ориентирован преимущественно на клинико-физические, дозиметрические и технологические критерии стереотаксической радиотерапии [7, 8, 14].

Согласно ICRU Report 91, стереотаксическая радиотерапия (*stereotactic radiotherapy*, SRT) сочетает методы стереотаксической локализации с подведением множества малых фотонных полей за одну или несколько фракций с высокой дозой за фракцию к локализованной в пространстве

клинической мишени с миллиметровой точностью. Безопасность лечения обеспечивается высококонформным распределением поглощенной дозы и крутым дозовым градиентом по краю мишени. В практической классификации выделяются классическая SRS за одну фракцию, интракраниальное лечение за 2–12 фракций и стереотаксическая радиотерапия экстракраниальных мишеней за 1–12 фракций. Фракционированные интракраниальные режимы в этой системе обозначаются общим термином SRT [14].

Согласно консенсусному заявлению рабочих групп DEGRO и DGMP, стереотаксическое облучение определяется совокупностью шести взаимосвязанных признаков [8].

Метод дистанционной лучевой терапии. Стереотаксическое облучение реализуется на линейных ускорителях или специализированных стереотаксических установках (Gamma Knife, CyberKnife, Edge, Versa HD и др.), соответствующих минимальным техническим требованиям к качеству [8].

Четко очерченный таргетный объем. Мишень без диффузной инфильтрации прилежащих серийных органов риска; при опухолевом процессе она ограничивается макроскопически определяемой опухолью с небольшим отступом, учитывающим возможное микроскопическое распространение [8].

Высокая точность и воспроизводимость лечения. Требуемая прецизионность обеспечивается системной оптимизацией всех этапов процесса — от междисциплинарного определения показаний и выбора предлучевой визуализации до высококонформного планирования, фиксации и/или облучения под визуальным контролем, управления движением мишени и последующего наблюдения. Со стороны медицинской физики необходимы более строгие, чем при стандартной фракционированной радиотерапии, процедуры контроля качества [8].

Биологически высокая доза облучения. Подводимая биологическая доза не ниже, а нередко выше доз, применяемых при радикальной радиотерапии в классическом режиме фракционирования [8].

Малое число фракций. Облучение проводится за одну или несколько фракций, число которых не превышает 12. Выбор режима фракционирования и суммарной дозы носит риск-адаптированный характер и определяется объемом и локализацией мишени [8].

Локально-куративная цель лечения. Основной целью является достижение долгосрочного локального контроля опухоли либо, при функциональных и сосудистых показаниях, деструкция клеточной или тканевой функции с минимальным риском осложнений. Локальный контроль обычно служит промежуточной задачей для купирования симптомов или улучшения прогноза основного заболевания [8].

DEGRO/DGMP выделяет три формы стереотаксического облучения: классическую SRS для интракраниальных мишеней, функциональных и сосудистых нарушений; фракционированную стереотаксическую радиотерапию (fractionated stereotactic radiotherapy, FSRT) для тех же интракраниальных показаний; стереотаксическую радиотерапию экстракраниальных мишеней (stereotactic body radiotherapy, SBRT) [8].

В ICRU Report 91 и консенсусе DEGRO/DGMP термин SRS закреплен за интракраниальным облучением за один сеанс. Различие касается фракционированных интракраниальных режимов: ICRU Report 91 обозначает их как SRT за 2–12 фракций, тогда как DEGRO/DGMP использует самостоятельный термин FSRT для того же диапазона фракционирования [7, 8].

Экстракраниальная стереотаксическая радиотерапия

Основным классификационным признаком экстракраниальной стереотаксической радиотерапии (SBRT) является расположение мишени вне полости черепа. В типовой политике ASTRO SBRT определяется как метод радиотерапии, сочетающий высокую точность наведения и воспроизводимость с высокими дозами точно подводимого ионизирующего излучения, генерируемого внешним источником. SBRT проводится за 1–5 фракций; в рамках данной типовой политики курс, превышающий пять фракций, не относится к SBRT. Каждая фракция требует одинаковой степени точности, локализации и визуализационного контроля [11, 12].

В руководстве AAPM-RSS при определении SBRT ключевым критерием выступает комплекс технологических условий, необходимых для безопасного проведения лечения, а не только формальное число фракций. SBRT определяется как радиотерапия с использованием стереотаксического наведения с высокой точностью к экстракраниальным мишеням. Высокая доза за фракцию, критическая значимость точности наведения и доставки дозы обусловливают необходимость повышенного ресурсного обеспечения и усиленного контроля качества: высокоточной визуализации мишени, воспроизводимой иммобилизации, оценки и коррекции меж- и внутрифракционных смещений, органоспецифического управления движением мишени и органов риска, дозиметрии малых полей, строгих дозовых ограничений и расширенной системы контроля качества [3].

В отличие от типовых политик ASTRO, в ICRU Report 91 и DEGRO/DGMP допускают более широкий диапазон фракционирования

SBRT — до 12 фракций, что обеспечивает возможность риск-адаптированного планирования. Экстракраниальное лечение за одну фракцию не выделяется в самостоятельную категорию: термин SRS сохраняется только за интракраниальным облучением за один сеанс, тогда как экстракраниальные стереотаксические режимы независимо от числа фракций относятся к SBRT [7, 8].

Термин «стереотаксическая аблативная радиотерапия» (*stereotactic ablative radiotherapy*, SABR) подчеркивает аблативную направленность SBRT. В международной литературе его используют неоднородно: в одних источниках SABR и SBRT рассматриваются как синонимы, в других SABR относят только к режимам с выраженной дозовой интенсификацией. Поэтому SABR целесообразно трактовать как характеристику дозовой стратегии, а не как категорию, определяемую только числом фракций [6, 17, 18].

Физические и дозиметрические параметры стереотаксического облучения (ICRU Report 91)

Физико-дозиметрические аспекты стереотаксического облучения с использованием малых фотонных пучков систематизированы в отчете 91 Международной комиссии по радиационным единицам и измерениям (International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU). В отчете установлены единые подходы к определению объемов, дозиметрии, планированию, наведению и контролю качества [7, 14].

Определение объемов и геометрическая точность. Сохраняются стандартные определения целевых объемов: макроскопический объем опухоли (*gross tumor volume*, GTV) соответствует визуализируемому очагу, а клинический объем мишени (*clinical target volume*, CTV) — области клинически значимого риска микроскопического распространения. Внутренний объем мишени (*internal target volume*, ITV), планируемый объем мишени (*planning target volume*, PTV) и планируемый объем органа риска (*planning organ at risk volume*, PRV) используют для учета движения мишени, погрешностей позиционирования и неопределенностей локализации органов риска. При отсутствии макроскопической опухоли, в частности после резекции метастаза в головном мозге, PTV формируют на основе CTV. При функциональных и сосудистых показаниях применимость CTV ограничена, поскольку мишень определяется анатомической, функциональной или сосудистой структурой. Для опухолевых поражений CTV следует указывать даже при его совпадении с GTV [14].

Величину PTV-отступа определяют по суммарной геометрической неопределенности всей технологической цепочки. При классической SRS документированная точность порядка 1 мм допускает минимальный или нулевой PTV-отступ. При экстракраниальной стереотаксической радиотерапии движение мишени и органов риска обычно требует четырехмерной компьютерной томографии (4D-КТ), формирования ITV или применения других стратегий управления движением и, как правило, большего PTV-отступа [14].

Физика и дозиметрия малых полей. Дозиметрия малых полей является обязательным компонентом стереотаксического облучения и требует учета нарушения латерального равновесия заряженных частиц, частичного перекрытия источника коллиматором и выраженной зависимости результатов измерения от характеристик детектора. Калибровка в стандартном поле 10 × 10 см не может непосредственно применяться к малым полям без специализированных процедур и детектор-зависимых поправок. Предпочтительны детекторы с малым чувствительным объемом и водоэквивалентным откликом, однако универсального решения не существует [14, 19].

Алгоритмы планирования. Для малых полей, особенно в условиях тканевой неоднородности, расчет дозы выполняют с помощью современных модельных алгоритмов, включая методы Monte Carlo, учитывающих нарушение электронного равновесия и латеральное рассеяние электронов. Требуется точное моделирование коллимации, геометрии источника и утечек. Ввод оборудования в эксплуатацию должен включать верификацию алгоритмов в гетерогенной среде [14].

Визуальный контроль доставки. Малые поля, крутые дозовые градиенты и ограниченное число фракций повышают чувствительность стереотаксического облучения к меж- и внутрифракционным смещениям. Поэтому необходимы надежная иммобилизация, визуально контролируемая радиотерапия (*image-guided radiation therapy*, IGRT), адекватный учет дыхательного движения и контроль суммарной геометрической точности на всех этапах лечения [14].

Обеспечение качества. Радиотерапия малыми фотонными полями требует расширенной программы контроля качества, охватывающей всю клинико-технологическую цепочку: визуализацию, оконтуривание, регистрацию изображений, планирование, индивидуальную верификацию плана, позиционирование и доставку дозы. Ключевым элементом является сквозное тестирование (*end-to-end testing*), при котором фантом проходит полный клинический цикл с оценкой суммарной геометрической и дозиметрической точности. Такая программа предполагает участие специализированной команды, независимые проверки, внешний аудит и использование

фантомов и детекторов, пригодных для измерений в малых полях и областях крутого дозового градиента [14].

Значение контроля качества как непрерывного технологического процесса подтверждается структурой международных рекомендаций. В систематическом обзоре Ł. Kuncman и соавт. технические требования к стереотаксическому облучению были представлены в 37 из 51 публикации. Наиболее часто регламентировались иммобилизация и IGRT, методы визуализации, геометрическая точность, планирование, управление движением мишени и специализированные процедуры контроля качества. Ежедневная IGRT рекомендовалась в 15 источниках, 4D-КТ для подвижных мишеней — в 13, алгоритмы расчета дозы типа B или C — в 11, а размер расчетной сетки не более 2 мм — в восьми [6].

Таким образом, контроль качества при стереотаксическом облучении представляет собой не совокупность изолированных проверок оборудования, а непрерывную верификацию согласованности всех этапов лечебного процесса. Воспроизводимость и безопасность лечения определяются надежностью всей технологической цепочки, а не отдельной функцией аппарата или типом дозиметрического плана.

Назначение, регистрация и отчетность. Планирование включает три взаимосвязанных этапа: определение мишеней на основе визуализации и оконтуривания объемов, относящееся к ответственности врача; физико-дозиметрическую оптимизацию доставки дозы; утверждение плана с указанием предписанной дозы и технических параметров, относящееся к совместной ответственности врача и медицинского физика. Для PTV указывают медианную дозу D50% и дозы, близкие к минимальной и максимальной: при PTV ≥ 2 см³ — $D_{98\%}$ и $D_{2\%}$, при PTV < 2 см³ — $D_{V-35\ мм^3}$ и $D_{35мм^3}$ соответственно [14].

Оборудование. Системы для стереотаксического облучения должны обеспечивать миллиметровую точность локализации мишени, формирование малых фотонных полей, высокую конформность и крутой дозовый градиент, надежную иммобилизацию, визуальный контроль положения, учет движения мишени, точную дозиметрию малых полей и верифицированное планирование. Могут использоваться специализированные комплексы (Gamma Knife, CyberKnife, Zap-X) и адаптированные линейные ускорители при подтвержденной механической, геометрической и дозиметрической точности, согласовании визуализационного и лечебного изоцентров, сквозном тестировании и регулярном контроле качества [7, 14, 20].

Радиобиология. При высоких дозах за фракцию применимость линейно-квадратичной модели остается дискуссионной, поскольку радиобиологический эффект стереотаксического облучения не ограничивается прямым повреждением опухолевых клеток. Модель сохраняет практическое значение для сравнения режимов фракционирования, однако неопределенность расчетов биологически эффективной дозы (*biologically effective dose*, BED) и эквивалентной дозы в фракциях по 2 Гр (*equivalent dose in 2-Gy fractions*, EQD2) возрастает при использовании параметров α/β за пределами диапазона доз, в котором они были определены и клинически валидированы. Помимо прямой клоногенной инактивации опухолевых клеток, возможны сосудистые, стромальные и иммуноопосредованные эффекты. Их относительный вклад зависит от типа опухоли, дозы за фракцию и режима фракционирования, что требует осторожной клинической интерпретации расчетных биологически эквивалентных доз [21, 22].

Итоговые результаты терминологического анализа

Анализ терминологии, используемой профессиональными обществами, позволяет выделить признаки, присутствующие во всех ключевых международных определениях: точную пространственную локализацию мишени, воспроизводимую геометрическую точность доставки дозы, высокую конформность и крутой дозовый градиент по краю мишени [6–8, 14].

На основе этих признаков итоговое определение можно сформулировать следующим образом: стереотаксическое облучение представляет собой форму дистанционной радиотерапии, обеспечивающую облучение точно локализованной мишени с воспроизводимой высокой геометрической точностью, высокой конформностью дозового распределения и резким снижением дозы за пределами таргетного объема [6–8, 14].

Консенсус DEGRO/DGMP дополнительно включает в определение подведение биологически высокой дозы за одну или небольшое число фракций с локально-куративной целью [8].

Основное различие стереотаксического облучения и конвенциональной радиотерапии заключается прежде всего в стратегии защиты нормальных тканей и органов риска. При традиционной фракционированной радиотерапии безопасность в значительной степени обеспечивается межфракционным восстановлением сублетальных повреждений нормальных тканей. При стереотаксическом облучении основным механизмом обеспечения безопасности является формирование высококонформного дозового распределения с крутым градиентом дозы за пределами мишени, что позволяет снизить лучевую нагрузку на окружающие нормальные ткани и критические органы [14, 21, 22].

Из этого различия следует выбор режима фракционирования. Облучение за один сеанс, соответствующее классической SRS, применимо при небольших компактных мишенях, когда геометрические условия позволяют обеспечить адекватное покрытие таргетного объема высокой дозой при соблюдении ограничений для критических структур [8, 14].

Если подведение высокой дозы за один сеанс сопряжено с неприемлемым риском осложнений вследствие размера, формы или локализации мишени относительно критических структур, используют фракционированный стереотаксический режим. Его безопасность определяется главным образом сохранением высокой пространственной селективности облучения, тогда как межфракционная репарация сублетальных повреждений нормальных тканей вносит дополнительный вклад в снижение риска постлучевых осложнений [8, 14].

Остается дискуссионным вопрос, сохраняет ли радиотерапия стереотаксический характер при классическом фракционировании (25–30 фракций) с использованием стереотаксической навигации. В таком режиме ведущим механизмом защиты нормальных тканей является межфракционное восстановление, а пространственная селективность дозы имеет только дополнительное значение. При этом даже формальное соблюдение ряда физико-технических признаков стереотаксиса в рамках классического фракционирования не снимает главного несоответствия: оно не отвечает определению стереотаксического облучения консенсуса DEGRO/DGMP, которое предполагает подведение биологически высокой дозы за одну или малое число фракций [8].

Обсуждение положений для формирования унифицированного глоссария стереотаксического облучения

Формирование глоссария стереотаксического облучения предполагает не только перевод англоязычных аббревиатур, но и их смысловую стандартизацию. Термины должны отражать локализацию мишени, режим фракционирования и физико-технические требования к облучению. Это необходимо для снижения терминологической неоднородности, сопоставимости лечебных протоколов, воспроизводимости публикаций и корректного сравнения отечественных данных с результатами международных исследований. Сформулированные ниже положения предлагаются для профессионального обсуждения и не являются стандартом или клинической рекомендацией.

Первое положение — иерархическая организация терминологии. По аналогии с консенсусом DEGRO/DGMP предлагается использовать термин «стереотаксическое облучение» как базовое понятие, объединяющее формы дистанционной радиотерапии, основанные на пространственной локализации мишени, высокой геометрической точности доставки дозы, конформности, крутом дозовом градиенте и подведении биологически высокой дозы.

Второе положение — разграничение терминов по анатомической локализации и числу фракций. Интракраниальное стереотаксическое облучение за один сеанс обозначается как стереотаксическая радиохирургия (CPX/SRS), а интракраниальное лечение за 2–12 фракций — как фракционированная стереотаксическая радиотерапия (ФСРТ/FSRT). Стереотаксическое облучение экстракраниальных мишеней независимо от числа фракций предлагается относить к экстракраниальной стереотаксической радиотерапии (ЭСРТ/SBRT). Такое разграничение делает избыточными неоднозначные термины «фракционированная радиохирургия» и «экстракраниальная радиохирургия».

Третье положение — определение дозы за фракцию. Минимальная доза за фракцию для стереотаксического облучения не установлена. В анализируемых документах используется преимущественно относительный критерий: доза за фракцию должна превышать применяемую при конвенциональном фракционировании в сопоставимой клинической ситуации, а суммарный биологический эффект курса должен быть выше или, как минимум, не ниже, чем при конвенциональном фракционировании [6, 8, 14].

Четвертое положение — разграничение стереотаксического облучения и радиотерапии в классическом режиме фракционирования со стереотаксической навигацией. Определения ASTRO и DEGRO/DGMP предполагают не только высокую пространственную точность локализации мишени, но и доставку высокой дозы за фракцию [8, 15]. Вместе с тем отношение радиотерапии со стереотаксической навигацией и разовой дозой 1,8–2,0 Гр при ежедневном фракционировании в течение 25–30 дней к стереотаксическим методикам окончательно не определено и требует отдельного обоснования.

Пятое положение — определение фракционных границ. Диапазон 2–12 фракций, принятый в ICRU Report 91 и DEGRO/DGMP, следует рассматривать как условный консенсусный порог. Он охватывает ультракороткие режимы в 2–5 фракций и схемы в 6–12 фракций и позволяет применять риск-адаптированный выбор фракционирования при мишенях, прилежащих к критическим органам, и крупных мишенях сложной формы [8, 14].

Шестое положение — определение различий интракраниального и экстракраниального стереотаксиса. Несмотря на общую методоло-

гическую основу, их клиническая реализация различается. При интракраниальном лечении геометрия мишени обычно стабильна, что позволяет использовать минимальные или нулевые отступы и чаще применять СРХ либо ультракороткое гипофракционирование. При экстракраниальном лечении ключевое значение имеют меж- и внутрифракционные движения мишени и органов риска, требующие 4D-визуализации, формирования ITV, контроля дыхательного движения и более сложной оценки геометрических неопределенностей [8, 14].

Седьмое положение — возможность выделения ультракоротких режимов фракционирования в отдельную подкатегорию. По аналогии с типовой политикой ASTRO режимы в 1–5 фракций технологически и организационно ближе к классической СРХ. В этой системе возможно выделение интракраниальной аблативной стереотаксической радиотерапии за 2–5 фракций и экстракраниальной — за 1–5 фракций. Однако такая детализация усложняет терминологию и требует клинического либо административного обоснования [15].

Восьмое положение — стандартизация документации и отчетности. Одной аббревиатуры метода недостаточно для воспроизводимости клинических и дозиметрических данных. Следует указывать анатомическую локализацию, суммарную дозу, число фракций, способ предписания дозы, технологическую платформу, метод иммобилизации, способ визуального наведения, величину PTV-отступа, показатели конформности и градиента дозы, ограничения для органов риска, а при облучении подвижных экстракраниальных мишеней - стратегию управления движением мишени и органов риска [8, 14].

Девятое положение — мультидисциплинарная организация лечения. Безопасная реализация стереотаксического облучения требует специализированной команды, ядро которой составляют врач-радиотерапевт, медицинский физик и радиотерапевтический технолог. В зависимости от локализации мишени и клинической задачи привлекаются другие профильные специалисты. Необходимы четкое распределение ответственности, учет органоспецифических особенностей подготовки и лечения и непрерывное поддержание компетенций [3, 6, 8].

Ограничения исследования

Целенаправленный отбор источников не обеспечивает полноты систематического поиска. В анализ включены документы различного назначения и методологического уровня, что ограничивает их прямое сопоставление. Частота упоминания отдельных критериев не отражает силу доказательств или степень международного консенсуса. Предложенные положения следует рассматривать как терминологическую модель, основанную на соглашениях профессиональных обществ, а не как валидированную систему стандартов или клинических рекомендаций.

Заключение

Терминология стереотаксического облучения сформировалась на пересечении нейрохирургии, медицинской физики и радиационной онкологии, что обусловило неоднородность клинических, физико-технических и административных трактовок метода.

Основой унификации терминологии могут служить универсальные критерии: точная пространственная локализация мишени, воспроизводимость позиционирования, высокая конформность дозового распределения и крутой дозовый градиент. Разграничение вариантов стереотаксического облучения должно учитывать локализацию мишени, число фракций, физико-технический стандарт точности и ожидаемый радиобиологический эффект.

Базовым интегрирующим термином предлагается считать «стереотаксическое облучение». Внутри этой категории СРХ может быть закреплена за интракраниальным лечением за один сеанс, ФСРТ — за фракционированным интракраниальным облучением, а ЭСРТ — за экстракраниальными стереотаксическими режимами. Такая иерархия создает основу внутренне непротиворечивого глоссария, сопоставимого с международной терминологией и пригодного для клинической, научной и физико-технической отчетности.

Дальнейшая стандартизация требует профессионального консенсуса по выделению ультракоротких режимов, верхней границе числа фракций, минимальной дозе за фракцию и месту радиотерапии в режиме классического фракционирования со стереотаксической навигацией. В связи с анатомо-функциональными различиями органов и критических структур целесообразно отдельно рассмотреть органоспецифические особенности планирования, проведения и оценки безопасности стереотаксического облучения. Единая терминология должна сопровождаться минимальным стандартом технической и дозиметрической отчетности.

Благодарности

Для редакционной подготовки рукописи, систематизации библиографических ссылок и языкового редактирования использован ChatGPT (OpenAI, модель GPT-5.6 Thinking; 05.08.2026). Научное содержание проверено авторами; ответственность за окончательную версию рукописи несут авторы.

Acknowledgements

ChatGPT (OpenAI, GPT-5.6 Thinking model; 5 August 2026) was used for editorial preparation, organization of

bibliographic references, and language editing. The scientific content was verified by the authors, who take responsibility for the final version of the manuscript.

Конфликт интересов
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest
The authors declare no conflict of interest.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики
Неприменимо: работа является обзором литературы и не включает исследования с участием людей или животных.
Compliance with patient rights and principles of bioethics
Not applicable: this work is a literature review and does not involve research with human participants or animals.

Финансирование
Исследование проведено без спонсорской поддержки.
Funding
The study was performed without external funding.

Участие авторов
Авторы декларируют соответствие своего авторства международным критериям ICMJE.
Банов С.М. — общее научное руководство, концепция и дизайн обзора, написание текста рукописи;
Ильялов С.Р., Иванов П.И. — критический пересмотр содержания и научное редактирование;
Ветлова Е.Р. — поиск и анализ литературы, оформление списка источников;
Антипина Н.А., Файзуллин Р.Р. — научное редактирование, подготовка раздела по физико-техническим аспектам лечения.
Все авторы одобрили окончательную версию рукописи и согласились нести ответственность за все аспекты работы.
Authors' contributions
The authors declare that their authorship complies with the international ICMJE criteria.
Banov S.M.: overall scientific supervision, review concept and design, manuscript writing;
Ilyalov S.R., Ivanov P.I.: critical revision and scientific editing;
Vetlova E.R.: literature search and analysis, preparation of the reference list;
Antipina N.A., Fayzulin R.R.: scientific editing and preparation of the section on physical and technical aspects of treatment.
All authors approved the final version of the manuscript and agreed to be accountable for all aspects of the work.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Rahman M., Murad G.J.A., Mocco J. Early history of the stereotactic apparatus in neurosurgery. *Neurosurg Focus*. 2009; 27(3): E12.-DOI: 10.3171/2009.7.FOCUS09118.
2. Leksell L. The stereotaxic method and radiosurgery of the brain. *Acta Chir Scand*. 1951; 102(4): 316-319.-URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14914373/.
3. Cirino E., Benedict S.H., Dupre P.J., et al. AAPM-RSS Medical Physics Practice Guideline 9.b: SRS-SBRT. *J Appl Clin Med Phys*. 2025; 26(4): e14624.-DOI: 10.1002/acm2.14624.
4. Blomgren H., Lax I., Näslund I., Svanström R. Stereotactic high dose fraction radiation therapy of extracranial tumors using an accelerator: clinical experience of the first thirty-one patients. *Acta Oncol*. 1995; 34(6): 861-870.-DOI: 10.3109/02841869509127197.
5. Hamilton A.J., Lulu B.A., Fosmire H., Gosset L. LINAC-based spinal stereotactic radiosurgery. *Stereotact Funct Neurosurg*. 1996; 66(1–3): 1-9.-DOI: 10.1159/000099658.
6. Kuncman Ł., De la Pinta C., Milder M.T.W., et al. Definition and requirements for stereotactic radiotherapy: a systematic review. *Radiother Oncol*. 2025; 211: 111107.-DOI: 10.1016/j.radonc.2025.111107.
7. Wilke L., Andratschke N., Blanck O., et al. ICRU report 91 on prescribing, recording, and reporting of stereotactic treatments with small photon beams: statement from the DEGRO/DGMP Working Group Stereotactic Radiotherapy and Radiosurgery. *Strahlenther Onkol*. 2019; 195(3): 193-198.-DOI: 10.1007/s00066-018-1416-x.
8. Guckenberger M., Baus W.W., Blanck O., et al. Definition and quality requirements for stereotactic radiotherapy: consensus statement from the DEGRO/DGMP Working Group Stereotactic Radiotherapy and Radiosurgery. *Strahlenther Onkol*. 2020; 196(5): 417-420.-DOI: 10.1007/s00066-020-01603-1.
9. Schell M.C., Bova F.J., Larson D.A., et al. Stereotactic radiosurgery. AAPM Report No. 54. College Park (MD): American Association of Physicists in Medicine. 1995: 88.-DOI: 10.37206/53.
10. Barnett G.H., Linskey M.E., Adler J.R., et al. Stereotactic radiosurgery — an organized neurosurgery-sanctioned definition. *J Neurosurg*. 2007; 106(1): 1-5.-DOI: 10.3171/jns.2007.106.1.1.
11. American Society for Radiation Oncology. Stereotactic body radiation therapy (SBRT): model policy. Arlington (VA): ASTRO. 2020.-URL: https://www.astro.org/ASTRO/media/ASTRO/Daily%20Practice/PDFs/ASTROSBRTModelPolicy.pdf.
12. Chao S.T., Dad L.K., Dawson L.A., et al. ACR–ASTRO practice parameter for the performance of stereotactic body radiation therapy. *Am J Clin Oncol*. 2020; 43(8): 545-552.-DOI: 10.1097/COC.0000000000000706.
13. Schmitt D., Blanck O., Gauer T., et al. Technological quality requirements for stereotactic radiotherapy: expert review group consensus from the DGMP Working Group for Physics and Technology in Stereotactic Radiotherapy. *Strahlenther Onkol*. 2020; 196(5): 421-443.-DOI: 10.1007/s00066-020-01583-2.
14. International Commission on Radiation Units and Measurements. Prescribing, recording, and reporting of stereotactic treatments with small photon beams. ICRU Report 91. *J ICRU*. 2014; 14(2): 1-160.-DOI: 10.1093/jicru/ndx017.
15. American Society for Radiation Oncology. Stereotactic radiosurgery (SRS): model policy. Arlington (VA): ASTRO. 2022.-URL: https://www.astro.org/ASTRO/media/ASTRO/Daily%20Practice/PDFs/ASTRO-SRS_ModelPolicy.pdf.
16. Pinzi V., Kotecha R., Sahgal A., et al. International Stereotactic Radiosurgery Society (ISRS) practice guidelines for radiosurgery in recurrent high-grade glioma. *Neuro Oncol*. 2026; 28(2): 353-370.-DOI: 10.1093/neuonc/noaf247.
17. Loo B.W. Jr., Chang J.Y., Dawson L.A., et al. Stereotactic ablative radiotherapy: what's in a name? *Pract Radiat Oncol*. 2011; 1(1): 38-39.-DOI: 10.1016/j.prro.2010.07.001.
18. Montero A., Logar H.B.Z., Ratosa I. SABR vs. SBRT: a new deal for radiotherapy beyond terminology. *J Med Radiat Oncol*. 2024; 4(2): 69-72.-DOI: 10.53011/JMRO.2024.02.09.
19. Palmans H., Andreo P., Huq M.S., et al. Dosimetry of small static fields used in external photon beam radiotherapy: summary of TRS-483, the IAEA–AAPM international Code of Practice for reference and relative dose determination. *Med Phys*. 2018; 45(11): e1123-e1145.-DOI: 10.1002/mp.13208.

20. Антипина Н.А. Роботизированная система «КиберНож»: физико-технические характеристики. В кн. под ред. А.В. Голанова. Стереотаксическое облучение патологии ЦНС на аппарате «КиберНож». Москва: ИП «Т.А. Алексеева». 2017: 55-71.-ISBN: 978-5-905221-03-3. [Antipina N.A. Robotic CyberKnife system: physical and technical characteristics. In Ed. by A.V. Golanov. Stereotactic irradiation of CNS pathology using the CyberKnife system. Moscow: IP "T.A. Alekseeva". 2017: 55-71.-ISBN: 978-5-905221-03-3 (In Rus)].
21. Хмелевский Е.В., Замулаева И.А. Клиническая радиобиология в лучевой терапии: руководство для врачей. Москва: ГЭОТАР-Медиа. 2026: 128.-ISBN: 978-5-9704-9851-4.-URL: https://www.geotar.ru/lots/NF0035579.html. [Khmelevskii E.V., Zamuliaeva I.A. Clinical radiobiology in radiation therapy: a guide for physicians. Moscow: GEOTAR-Media. 2026: 128.-ISBN: 978-5-9704-9851-4.-URL: https://www.geotar.ru/lots/NF0035579.html (In Rus)].
22. Антипина Н.А. Радиобиологические основы лучевой терапии высокими дозами. В кн. под ред. А.В. Голанова. Стереотаксическое облучение патологии ЦНС на аппарате «КиберНож». Москва: ИП «Т.А. Алексеева». 2017: 71-102.-ISBN: 978-5-905221-03-3. [Antipina N.A. Radiobiological foundations of high-dose radiation therapy. In Ed. by A.V. Golanov. Stereotactic irradiation of CNS pathology using the CyberKnife system. Moscow: IP "T.A. Alekseeva". 2017: 71-102.-ISBN: 978-5-905221-03-3 (In Rus)].

Поступила в редакцию / Received / 14.08.2026
Прошла рецензирование / Reviewed / 17.09.2026
Принята к печати / Accepted for publication / 09.11.2026

Сведения об авторах / Author Information / ORCID

Сергей Михайлович Банов / Sergey M. Banov / ORCID ID: 0000-0002-6510-7883; SPIN: 6804-8690; Researcher ID Web of Science: I-7690-2014; Scopus ID: 55889257300

Сергей Рустамович Ильялов / Sergey R. Ilyalov / ORCID ID: 0000-0002-1572-5798; SPIN: 2373-8987; Researcher ID Web of Science: QUU-3924-2026; Scopus ID: 57222745167.

Павел Игоревич Иванов / Pavel I. Ivanov / ORCID ID: 0000-0003-3747-4181; SPIN: 9405-7172; Researcher ID Web of Science: QUU-4253-2026; Scopus ID: 7202776704.

Елена Рэмовна Ветлова / Elena R. Vetlova / ORCID ID: 0000-0002-4904-0324; SPIN: 2478-3180; Researcher ID Web of Science: QUU-3874-2026; Scopus ID: 55274182400.

Наталья Анатольевна Антипина / Natalia A. Antipina / ORCID ID: 0000-0003-3470-5802; SPIN: 4187-6105; Researcher ID Web of Science: ABF-4790-2020; Scopus ID: 55273824100.

Рафаэль Ринатович Файзуллин / Rafael R. Fayzulin / ORCID ID: 0000-0002-3351-1195; SPIN: 6371-7137; Researcher ID Web of Science: LTC-9298-2024; Scopus ID: 55604382000.

CC BY NC ND