Калибровка диагностических оборудований в ядерной медицине: методология, точность и клиническое значение

Н. А. Шаназаров, А. Б. Садуакасова, Т. И. Сарсенгалиев, А. А. Наурзбаева

РГП «Больница Медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан» на ПХВ, Астана, Республика Казахстан

Актуальность. Точность и воспроизводимость количественных данных гибридных методов визуализации (ПЭТ/КТ и ОФЭКТ/КТ) имеют ключевое значение для диагностики, мониторинга и планирования лечения онкологических пациентов. Нарушения калибровки или недостаточный контроль качества могут привести к значительным отклонениям стандартных значений SUV, что способно изменить клиническое решение. Разработка и внедрение стандартизированных процедур контроля качества (QC) и калибровки обеспечивает надежность данных, оптимизацию лучевой нагрузки и сопоставимость результатов между медицинскими центрами – особенно в условиях многоцентровых исследований и международных проектов.

Известно, что на рассчитанные значения SUV влияет множество технических факторов, и без надлежащей калибровки сканера возможны смещения и вариабельность, неочевидные при рутинной визуальной оценке. Поэтому международные инициативы (QIBA, UPICT, EANM и др.) и стандарты требуют обеспечения количественной точности ПЭТ-измерений в многоцентровых исследованиях. Точность и корректность информации, получаемой на ПЭТ/КТ (а также ОФЭКТ/КТ) изображениях, напрямую зависят от технического состояния томографа и требуют своевременного регулярного контроля. Согласно рекомендациям МАГАТЭ, современным ПЭТ-сканерам необходимы периодические калибровки, а основная цель программ контроля качества – убедиться, что изображения достоверно отражают распределение радиофармпрепарата в организме пациента. Без такой системы QA/QC повышается риск ошибок измерений и снижения достоверности исследований, что в онкологии может привести к ошибкам в оценке динамики заболевания.

Цель исследования. Доклад направлен на обоснование значимости и описания методов калибровки и контроля качества ПЭТ/КТ и ОФЭКТ/КТ оборудования в клинической практике. Цель – продемонстрировать, как поддержание точности калибровки (особенно параметра SUV) и выполнение регулярного QC по стандартам NEMA и МАГАТЭ повышают стабильность работы оборудования, снижают вероятность ошибок и обеспечивают высокую клиническую точность результатов исследований.

Материалы и методы. В Центре ядерной медицины БМЦ УДП РК реализована комплексная программа QA/QC для гибридных ПЭТ/КТ и ОФЭКТ/КТ сканеров. Калибровка оборудования включает межприборную калибровку «сканер – дозиметрический радионуклидный калибратор». Для этого ежеквартально проводится сканирование однородного водного цилиндрического фантома с известной активностью радиофармпрепарата (например, ^{18}F). Активность образца предварительно точно измеряется дозкалибратором, прослеженным по национальному эталону, что позволяет установить калибровочный коэффициент томографа для корректного расчета SUV. Критерием является получение на скане значения $\text{SUV} \approx 1,0$ в фантоме с допустимым отклонением не более 10%; на практике при строгом соблюдении методики достигается отклонение ~5%. Дополнительно проверяется синхронизация времени между дозкалибратором и сканером (исключение ошибок распада при пересчете активности).

Контроль качества ОФЭКТ/КТ осуществляется в аналогичном режиме. Ежедневно проверяется равномерность детекторов гамма-камеры с помощью плоского источника (например, ^{57}Co) или заливного фоновый фантома. Ежедневно и после сервисных работ проводятся тесты центровки системы (коррекция центра вращения) и проверка разрешающей способности. Используется фантом Jaszczak – полый цилиндр с набором радиальных стержней и сферическими вкладками, заполняемый раствором $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Данный фантом позволяет комплексно оценить разрешение, контрастность и однородность SPECT-изображения на разных коллиматорах, а также убедиться в корректной работе алгоритмов реконструкции и совмещения с КТ. Показатели, полученные на фантомах, сопоставляются с паспортными значениями производителя и требованиями стандартов (NEMA NU1 для гамма-камер, IEC/NEMA NU2 для ПЭТ, рекомендациями МАГАТЭ и Европейской ассоциации ядерной медицины). При выявлении отклонений за пределами допуска сразу выполняется рекалибровка или техническое обслуживание оборудования. Все результаты QC протоколируются, что позволяет отслеживать динамику характеристик устройств во времени.

Заключение. Калибровка и регулярный контроль качества ПЭТ/КТ и ОФЭКТ/КТ оборудования являются обязательными условиями точной и надежной работы отделения ядерной медицины. Для онкологии, где даже небольшие изменения SUV или ошибок в изображении могут повлиять на тактику лечения, поддержание строгих протоколов QC – залог воспроизводимости результатов и доверия со стороны клиницистов. Выполнение тестов по международным стандартам (NEMA, IAEA, EANM) обеспечивает сопоставимость

исследований между разными центрами и приборами. Внедренная система QC позволяет заранее обнаруживать отклонения в работе сканеров и предотвращать сбои, не дожидаясь критического ухудшения или отказа оборудования. Как следствие, снижается количество технических ошибок и повторных исследований, оптимизируется доза для пациентов, а главное – повышается достоверность диагностической информации и эффективность мониторинга терапии. Такой подход повышает качество онкологической помощи, обеспечивая врачей корректными количественными данными и стабильными изображениями для принятия клинических решений.

Ключевые слова: ПЭТ/КТ, ОФЭКТ/КТ, калибровка, SUV, количественная точность, фантомы, клинический физик.