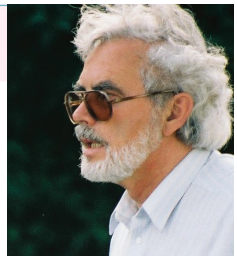
Optymalizacja obróbki fotochemicznej błon rentgenowskich a testy specjalistyczne

mgr inż. Jerzy Kuźnicki

Łódzki Ośrodek Szkoleniowo-Konsultacyjny „Łoś" Sp. z o.o., ul. Lecznicza 6, 93-173 Łódź
e-mail: juku@poczta.onet.pl



mgr inż. Jerzy Kuźnicki
Dyrektor ds. szkoleń Łódzkiego Ośrodka Szkoleniowo-Konsultacyjnego „Łoś"

Wstęp

Aby świadomie sterować jakimkolwiek procesem wytwarzania, należy najpierw doprowadzić go do stanu, w którym uzyskuje się możliwie najlepsze wyniki, a następnie stale sprawdzać, czy proces wytwarza powtarzalne produkty (wyniki).

Rozporządzenie Ministra Zdrowia na temat bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego przy badaniu i leczeniu ludzi wprowadza obowiązek przeprowadzania dwóch rodzajów testów kontrolnych urządzeń, nazwanych testami eksploatacyjnymi, obejmujących całość sprzętu angażowanego w proces obrazowania radiologicznego: testów podstawowych i testów specjalistycznych (świadomie pomijam tu testy akceptacyjne z uwagi na ich specyfikę). Pierwszy rodzaj testów powinien wykonywać sam użytkownik systemu obrazowania, natomiast przeprowadzenie drugiego użytkownik powinien zlecić uprawnionemu laboratorium i przechowywać protokoły z tego testu, które ważne są przez rok. O ile testy podstawowe wykonywane są przy użyciu prostych fantomów, a uzyskane wyniki upewniają użytkownika co do powtarzalności i stałości systemu (stąd przyjęta nazwa *constancy tests, Konstanzpruefung*), o tyle testy specjalistyczne, wykonywane przy pomocy bardziej wyrafinowanych narzędzi pozwalających zinwentaryzować stan fizyczny urządzeń, mają na celu dopuszczenie ich do pracy, jeśli spełniają określone wymagania (*acceptancy tests, Abnahmepruefung*). W przypadku procesu obróbki fotochemicznej błon rentgenowskich sytuacja jest jednak bardziej skomplikowana.

Przyglądając się analogicznym uregulowaniom prawnym obowiązującym w innych krajach, wprowadzonych znacznie wcześniej niż w Polsce, można zauważyć, że w niektórych sytuacjach podczas testów akceptacyjnych punktem odniesienia są parametry określone przez producenta. Dotyczy to przede wszystkim obróbki błon rentgenowskich. Przyjęcie takiego rozwiązania uzasadniał fakt dostępności wyników rozbudowanych badań w zakresie doboru parametrów obróbki, takich jak czas wywoływania i temperatura wywoływania dla różnych kombinacji błona – chemikalia do obróbki – procesor (urządzenie do obróbki) i uzyskiwanych w tych warunkach parametrów sensytometrycznych (gęstość minimalna, czułość, kontrastowość). Badania takie przeprowadzają producenci błon i chemikaliów do obróbki. W polskich warunkach rozwiązanie to nie było wskazane, zarówno ze względu na przeciętny stan techniczny eksploatowanych urządzeń do obróbki, jak i fakt, że producenci błon, zakładając szybką regresję techniki analogowej, w ostatnim czasie znacznie ograniczyli kosztowne badania wyżej wspomnianych zależności. Przyjęto zatem ideę optymalizacji obróbki w rzeczywistych warunkach panujących u użytkownika.

Zgodnie z przepisami użytkownik aparatu rentgenowskiego odpowiada za jakość wykonywanych zdjęć i wielkość zaaplikowanej pacjentowi dawki promieniowania jonizującego. Dlatego też jego obowiązkiem jest posiadanie aktualnego protokołu optymalizacji procesu obróbki fotochemicznej błon rentgenowskich. Wiąże się to z koniecznością

wykonania optymalizacji procesu obróbki fotochemicznej błon. W praktyce proces optymalizacji najlepiej zlecić serwisowi maszyny wywołującej, szczególnie wówczas, gdy maszyny nie mają łatwego dostępu do zmiany temperatury wywoływacza. Jakość świadczonej usługi będzie jednak funkcją świadomości i wymagań użytkownika, gdyż poza nim nie istnieją inne środki dyscyplinujące zleceniobiorcę takiej usługi.

Proces optymalizacji obróbki fotochemicznej

W analogowych systemach obrazowania z użyciem halogenosrebrowej błony jako rejestratora obrazu, na jakość obrazu i dawkę promieniowania jonizującego, którą otrzyma pacjent, wpływa przede wszystkim proces obróbki fotochemicznej błony. Własności sensytometryczne błon: gęstość minimalna i kontrastowość, które warunkują jakość obrazu, oraz czułość decydująca o wielkości dawki, zależą od aktywności wywoływacza. Ta z kolei jest determinowana składem wywoływacza, czasem wywoływania, temperaturą wywoływania, dynamiką przepływów wywoływacza względem wywoływanej błony i stopniem regeneracji (odświeżania) roztworu wywoływacza.

Optymalizacja ta w praktyce polega na doborze temperatury wywoływania i czasu wywoływania (ten ostatni czynnik w większości maszyn zdeterminowany jest ich konstrukcją i nie podlega regulacji) w maszynie użytkownika (napełnionej używaną przez niego chemią) z użyciem błon, które użytkownik eksploatuje. Dobór ten przeprowadza się w celu osiągnięcia najlepszej jakości zdjęć rentgenowskich przy możliwie najniższej dawce promieniowania zaaplikowanej pacjentowi, czyli osiągnięcia możliwie najmniejszej wartości gęstości minimalnej przy optymalnej kontrastowości i równocześnie najwyższej czułości. Powinna być ona przeprowadzona dla temperatur zmienianych co 1°C w zakresie czterech stopni powyżej i czterech poniżej temperatury zalecanej przez producenta. Ponieważ optymalna kontrastowość mierzona wartością średniego gradientu jest różna dla poszczególnych obrazowanych obiektów (biorąc pod uwagę oglądany obraz) preferowane są wysokie wartości średniego gradientu, ale ze względu na ograniczenie ze strony błony, polegające na zmniejszaniu się użytecznej rozpiętości ekspozycji w miarę wzrostu średniego gradientu, nie zawsze można je stosować), użytkownik powinien określić, jaką wartością średniego gradientu należy się kierować. Typowe przedziały wartości średniego gradientu są następujące: mammografia 3,4–4,0, zdjęcia kostne 2,8–3,2, klatka piersiowa 2,2–2,6. W przypadku maszyn wywołujących stosowanych w mammografii sytuacja jest jednoznaczna. Jeśli jednak do obróbki różnych zdjęć ogólnodiagnostycznych używana jest jedna maszyna wywołująca, konieczna jest wówczas decyzja użytkownika, dla jakiego zakresu średniego gradientu tę maszynę optymalizować. Aby uniknąć takich sytuacji, w miejsce tzw. ogólnodiagnostycznych błon rentgenowskich stosowane są błony dedykowane do zdjęć kostnych czy zdjęć klatki piersiowej różniące się średnim gradientem w tych samych warunkach obróbki.

Przed rozpoczęciem optymalizacji należy sprawdzić, czy:

a) maszynę wywołującą umyto zgodnie z instrukcją obsługi;
b) zbiorniki na wywoływacze i utrwalacze opróżniono, zbiorniki opłukano, a raki zdemontowano i umyto czystą wodą;
c) filtr recyrkulacji wywoływacza wymieniono na nowy;
d) zbiorniki regeneratorów i przewody opróżniono i przepłukano czystą wodą;
e) w zbiornikach regeneratorów przygotowano, zgodnie z instrukcją producenta, świeże roztwory regenerujące;
f) system regeneracji pracował przez krótki czas podłączony do ścieków, by zapewnić usunięcie z przewodów resztek wody;
g) sprawdzono prawidłowość pracy pomp w układzie regenerującym;
h) zbiornik utrwalacza napełniono do właściwego poziomu świeżym utrwalaczem i zainstalowano raki utrwalacza;
i) zbiornik wywoływacza napełniono do właściwego poziomu świeżym wywoływaczem i dodano właściwą, określoną w załączonych dokumentach, ilość roztworu startera;
j) ustawiono właściwą temperaturę wody dostarczanej w sposób ciągły do maszyny wywołującej oraz sprawdzono stopień przepływu wody płuczącej, a także prawidłowość funkcjonowania systemu recyrkulacji;
k) za pomocą ręcznego termometru cyfrowego o dokładności wskazań 0,1°C mierzono temperaturę wywoływacza, utrwalacza i wody płuczącej w rogach zbiorników każdej kąpieli;
l) zmierzoną temperaturę wywoływacza porównano ze wskazaniami termometru maszyny wywołującej i w przypadku różnicy zanotowano ją;
m) zmierzono stopień regeneracji wywoływacza i utrwalacza oraz w razie potrzeby wyregulowano zgodnie z danymi zawartymi w załączonych dokumentach,
n) zmierzono czas od wejścia przedniej krawędzi filmu do maszyny do jej wyjścia z maszyny oraz sprawdzono, czy czas cyklu obróbki znajduje się w granicach dopuszczalności podanych w załączonych dokumentach;
o) przepuszczono przez procesor serię „błon czyszczących" w celu sprawdzenia, czy w maszynie nie powstają defekty, np. zadrapania lub ślady po urazach mechanicznych („błony czyszczące" to błony naświetlone i niewywołane).

Przed rozpoczęciem testów sensytometrycznych maszyna wywołująca powinna wywołać równoważność co najmniej 20 konwencjonalnych radiogramów formatu 35 x 43 cm. Po skończonych testach dla temperatur zmienianych co 1°C w zakresie czterech stopni powyżej i czterech poniżej temperatury zalecanej przez producenta oraz po przeprowadzeniu analizy wyników zgodnie z powyżej opisanymi zasadami, należy dokonać doboru optymalnej temperatury wywoływania. Można to zrobić, wykonując wykresy zależności czułości, średniego gradientu i gęstości minimalnej (D_{min}) od temperatury. Na podstawie tych wykresów wyznaczana jest temperatura optymalna dla procesu obróbki. Jest to temperatura, dla której wskaźnik kontrastowości osiąga wartość optymalną dla określonego zastosowania (najczęściej jest to wartość maksymalna dla określonego zastosowanego typu błon rentgenowskich, przy założeniu, że używa się błon rentgenowskich dedykowanych do konkretnego zastosowania, a nie tzw. błon ogólnodiagnostycznych), a wskaźnik światłoczułości również przyjmuje możliwie najwyższą wartość. Po wyznaczeniu tej temperatury należy sprawdzić, czy osiągnięty przy niej wskaźnik D_{min} może być zaakceptowany i czy nie zmienia się on silnie przy małych zmianach temperatury roztworu wywołującego. Jeśli wskaźnik D_{min} osiąga przy tej temperaturze wywoływacza zbyt wysoką wartość, optymalną temperaturę obróbki określa się przy temperaturze, w której D_{min} nie przekracza wartości 0,05 ponad najniższe D_{min}, jakie osiągnięto w całym teście. Należy równocześnie pamiętać, że wartości D_{min}

podczas eksploatacji nie mogą przekraczać wartości 0,30 w radiologii ogólnej, a 0,25 w mammografii, a zatem w tej fazie powinny być odpowiednio niższe (w praktyce nie powinny przekraczać 0,20 w obróbce mammograficznej, a 0,25 w ogólnodiagnostycznej).

Optymalną temperaturę roztworu wywołującego należy zapisać. Jeśli używana jest tylko jedna maszyna wywołująca, trzeba ustawić temperaturę wywoływania na tę wartość. W wypadku zastosowania większej liczby maszyn konieczna jest ich synchronizacja.

Jeżeli optymalna temperatura wyznaczona powyżej przedstawioną metodą różni się od wyspecyfikowanej dla identycznych warunków obróbki w załączonych dokumentach o więcej niż 3°C, należy skontaktować się z producentem błon.

Wyznaczanie poziomu bazowego dla podstawowych parametrów sensytometrycznych, będących odniesieniem dla testu podstawowego, wykonuje się na podstawie testów sensytometrycznych przeprowadzonych w wyznaczonych podczas optymalizacji warunkach w ciągu kolejnych pięciu dni, obliczając średnie z wyników tych testów.

Optymalizacja i wyznaczenie nowych wartości poziomu bazowego powinny być przeprowadzone po:

a) zmianie typu chemikaliów, maszyny wywołującej lub typu błon radiograficznych,
b) przeprowadzonych poważniejszych przeglądach lub naprawach maszyny wywołującej.

Protokuł optymalizacji

Przebieg testów optymalizacyjnych powinien znaleźć się w treści protokołu optymalizacji. Z kolei w podsumowaniu protokołu powinny znaleźć się informacje, takie jak:

- producent, nazwa i typ maszyny wywołującej,
- producent, nazwa i typ roztworów do obróbki fotochemicznej oraz stopień regeneracji wywoływacza i utrwalacza,
- producent, nazwa i typ błon użytych do optymalizacji wraz z ich numerem serii i terminem przydatności,
- temperatura wywoływacza wybrana w trakcie optymalizacji,
- czas wywoływania,
- uzyskane parametry sensytometryczne (gęstość minimalna – D_{min}, wskaźnik światłoczułości – S wraz z definicją, wskaźnik kontrastowości wyrażony średnim gradientem).

Ponadto protokół optymalizacji powinien zawierać:

- wskazania miejsca pomiaru temperatury wywoływacza, sposób oraz miejsce wprowadzania sensytogramów do maszyny wywołującej,
- czas upływający między naświetleniem sensytogramów w sensytometrze a wprowadzeniem ich do maszyny wywołującej,
- informacje o użytym sprzęcie pomiarowym oraz krzywe charakterystyczne, na podstawie których dokonano obliczeń parametrów.

W ramach testów specjalistycznych sprawdzany jest także stan obróbki fotochemicznej. Badania te są przeprowadzane w celu ustalenia, czy stan obróbki, mimo prowadzonych przez użytkownika testów podstawowych, nie odbiega bardziej niż określono to w granicach dopuszczalnych odchyleń od stanu optymalnego zarejestrowanego w protokole optymalizacji. Testy bazują na pomiarach sensytometrycznych używanych przez użytkownika błon z „opakowania testowego" (opakowania kontrolnego używanego przez użytkownika do testów podstawowych), w warunkach obróbki panujących u użytkownika. Test należy przeprowadzić w warunkach normalnej pracy maszyny wywołującej, a więc po wcześniejszym wywołaniu w niej kilkunastu radiogramów. Wyniki testu porównuje się z uzyskanymi wynikami końcowymi po optymalizacji, zawartymi w aktualnym protokole optymalizacji obróbki fotochemicznej, który powinien przedstawić użytkownik.

Ponieważ wyniki pomiarów są porównywane z wynikami znajdującymi się w protokole optymalizacji, należy upewnić się, czy przedstawiony protokół optymalizacji jest aktualny (czy po jego wykonaniu nie było zmian producenta lub typu chemikaliów do obróbki, zmiany producenta lub typu błon, napraw bądź regulacji maszyny wywołującej).

Użycie do testu błon z innej partii produkcyjnej aniżeli błony wykorzystane do optymalizacji, może utrudnić porównanie faktycznego stanu obróbki fotochemicznej ze stanem po optymalizacji. Aby zminimalizować ryzyko powstania takiej sytuacji, należy wykorzystywać do testu błony z takiego opakowania testowego, które zostało użyte do testów podstawowych. Jeśli jednak mimo tego wystąpi wspomniana wyżej sytuacja, należy to zaznaczyć i dokonać dodatkowej interpretacji na podstawie testów z badań odbiorczych kolejnych partii błon, wykonanych przez użytkownika. Stąd wniosek, że użytkownik powinien również wykonywać testy odbiorcze kolejnych dostaw błon. W tym celu należy porównać własności sensytometrycznych błon ze starej i nowej dostawy, wywołując naświetlone sensytometrem próbki błon w typowych dla siebie warunkach.

Na zakonczenie

Na zakończenie należy podkreślić, że o ile gęstość minimalna i wskaźnik kontrastowości wyrażony średnim gradientem są pojęciami jednoznacznymi, o tyle w przypadku oznaczania czułości istnieją różne sposoby wyrażenia tej własności błon. Jednym z nich jest wskazanie tej wartości za pomocą gęstości optycznej na polu kryterialnym (w przypadku radiologii pole, na którym mierzona gęstość optyczna jest najbliższa wartości 1,0 + D_{min}), nazywanym wskaźnikiem światłoczułości (*speed index*). Jest on przedmiotem analizy w rozumieniu załącznika do Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 18 lutego 2011 r. w sprawie warunków bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego dla wszystkich rodzajów ekspozycji medycznej.

Inna metoda polega na określeniu czułości za pomocą wartości logarytmu względnego naświetlenia potrzebnego do uzyskania gęstości optycznej o wartości: 1,0 + D_{min}. W takim przypadku czułość opisuje się za pomocą wskaźnika LE (norma DIN) lub *relative speed* (norma ANSI). Przy tak wyrażonej czułości odchyłka 10% dopuszczana w Rozporządzeniu przekładałaby się na odchyłkę gęstości optycznej od 2 do 4 razy większą (w zależności od kontrastowości), a więc znacznie przekraczałaby wartości dopuszczone przez przepisy.

Trzeba również pamiętać, że na wyniki testu wpływają zarówno czas upływający między naświetleniem sensytogramów a ich wywołaniem, jak i miejsce oraz sposób wprowadzenia radiogramu do maszyny wywołującej. Dlatego też podczas wykonywania testu specjalistycznego należy korzystać z odpowiednich w tym zakresie informacji zawartych w protokole optymalizacji.