

**НАЦИОНАЛЕН ЦЕНТЪР ПО РАДИОБИОЛОГИЯ
И РАДИАЦИОННА ЗАЩИТА**

СЕКЦИЯ “РАДИАЦИОННА ЗАЩИТА ПРИ МЕДИЦИНСКО
ОБЛЪЧВАНЕ”

ДЕСИСЛАВА ЗВЕЗДОМИРОВА КОСТОВА-ЛЕФТЕРОВА

**ОПТИМИЗАЦИЯ НА РЕНТГЕНОВИ ИЗСЛЕДВАНИЯ
В ПЕДИАТРИЯТА**

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд за присъждане на образователна и научна степен
“ДОКТОР”

Научна специалност:

03.01.86 Медицинска радиологична физика

Научен ръководител:

проф. Жения Василева, д.м.

2015 г.

Дисертационния труд съдържа 170 страници. Включва 19 фигури, 40 таблици в 5 раздела, обобщени изводи, приноси и 3 приложения. Списъкът на цитираната литература обхваща 217 заглавия, от които 10 на кирилица.

Дисертационния труд е обсъден и насочен за публична защита от Научния колегиум при НЦРРЗ на 23.06.2015 г.

Състав на научното жури:

1. Доц. Жана Джунова
2. Проф. Женья Василева
3. Проф. Васил Хаджидеков
4. Доц. Петър Триндев
5. Доц. Венцеслав Тодоров

Защитата на дисертационния труд ще се състои на2015 г.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се на интернет страницата и в учебен отдел на НЦРРЗ.

Съдържание

1	Актуалност на проблема и теоретични предпоставки.....	1
2	Цел и задачи на дисертацията	3
3	Материали и методи	4
3.1	Рентгенови уредби, включени в изследването	4
3.1.1	Конвенционални уредби за рентгенография.....	4
3.1.2	Компютър-томографски уредби.....	4
3.2	Използвани средства за измерване	4
3.2.1	Конвенционална рентгенова графия.....	4
3.2.2	Компютърна томография.....	4
3.3	Методи	5
3.3.1	Методи за дозиметрия при конвенционална рентгенова графия	5
3.3.2	Методи за дозиметрия при КТ	5
3.3.3	Разделяне на децата по групи.....	5
3.3.4	Проучване на практиката при конвенционална рентгенова графия .	5
3.3.5	Проучване на практиката при КТ	5
4	Резултати и обсъждане.....	7
4.1	Разделяне на децата по групи.....	7
4.2	Проучване на практиката и дозите на пациентите при рентгенова графия	8
4.2.1	Използвана проекция и противодифузионно устройство	9
4.2.2	Размер на преобразувателя на образа и на лъчевото поле.....	9
4.2.3	Използване на лъчезащитни средства	11
4.2.4	Избор на експонационни параметри.....	12
4.2.5	Дози на пациентите при белодробна рентгенография	14
4.2.6	Органни дози и ефективна доза за уредба III преди оптимизацията	15
4.2.7	Алгоритъм за оптимизиране на рентгеновите изследвания на бял дроб при деца	16
4.3	Проучване на практиката и дозите на пациентите при КТ.....	20
4.3.1	Обзор на практиката при КТ изследвания на деца в България	20
4.3.2	Анкетни за проучване на практиката на рентгенолозите	21
4.3.3	Анкета за рентгеновите лаборанти относно практиката при КТ изследвания на деца.....	24
4.3.4	Типични експонационни параметри и дозни индекси	26
4.3.5	Ретроспективно и проспективно проучване на дозите на пациентите при педиатрични КТ изследвания.....	30
4.3.6	Оптимизиране на КТ изследвания на глава при деца	33
	Изводи.....	36
	Приноси на дисертационния труд.....	40

Използвани съкращения и означения

ЕС – Европейски съюз

МААЕ (IAEA) – Международна агенция за атомна енергия (International Atomic Energy Agency)

МЗ – Министерство на здравеопазването

НЦРПЗ – Национален център по радиобиология и радиационна защита

ACR – Американски колеж по радиология (American College of Radiology)

FDA – Food and Drug Administration

ICRP – Международна комисия по радиологична защита (International Commission on Radiation Protection)

ICRU – Международна комисия по радиационните единици и измервания (International Commission on Radiation Units and Measurements)

NRPB – Национален съвет по лъчезащита на Великобритания (National Radiological Protection Board)

UNSCEAR - Научен комитет за действието на атомната радиация към Обединените нации (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation)

WHO (СЗО) – Световна здравна организация

ДРН – диагностично референтно ниво

КТ – компютърна томография

МДКТ – многодетекторна компютърна томография

МРД – магнитно-резонансна диагностика

ФФК – филм-фолийна комбинация

АЕС – автоматичен експонационен контрол

CR – компютърна рентгенография

DR – директна рентгенография

PMMA – полиметилметакрилат

B – фактор на обратно разсейване

E – ефективна доза

H_T – еквивалентна доза в даден орган или тъкан

C_{vol} – обемен компютър-томографски керма индекс

C_w – претеглен компютър-томографски керма индекс

$C_{a,100}$ – компютър-томографски индекс на въздушната керма

D_T – органна (тъканна) доза

EPD – еквивалентен диаметър на пациента

K_e – входяща въздушна керма

mAs – милиампер-секунди (практическа единица за количество електричество)

P_{ka} – произведение керма-площ

P_{KL} – произведение въздушна керма-дължина

1 Актуалност на проблема и теоретични предпоставки

Ефективните и органните дози от облъчването на пациентите при рентгенови диагностични процедури са относително ниски и радиационният риск при тях е за стохастични ефекти – канцерогенеза и генетични ефекти. Проучванията показват, че съществува ясно изразена възрастова зависимост на ефектите от облъчване с йонизиращи лъчения. Рискът за лъчевоиндуциран фатален рак при децата е до десет пъти по-голям, отколкото при възрастните, като ефектът зависи от вида на тумора, възрастта и пола.

Две са основните причини за по-високата лъчечувствителност на децата:

- 1) наличието в развиващия се детски организъм на повече делящи се клетки, които са основната мишена на йонизиращите лъчения; колкото по-голямо е количеството на делящи се клетки, толкова по-голяма е вероятността за мутации при облъчване с йонизиращо лъчение и съответно по-голяма е вероятността тези мутации да провокират злокачествено заболяване;
- 2) по-дългото оставащо време на живот спрямо възрастните и свързаната с това по-голяма вероятност за манифестиране на ефекта.

Неотдавна бяха публикувани първите резултати от три мащабни епидемиологични проучвания за търсене на пряка корелация между вероятността за рак и КТ изследвания, проведени в детството. Междинните резултати потвърждават твърдението, че е налице връзка между облъчването от КТ изследвания, проведени в детството, и по-късната проява на злокачествено заболяване. Изследванията продължават, но тези първи резултати подкрепят необходимостта от активни действия за осигуряване на безопасни и качествени рентгенови и нуклеарномедицински изследвания на децата.

Проучванията на радиологичната практика при деца е обект на интензивни изследвания през последните години. Предварителните данни сочат, че едва в 39 % от държавите в Европа са установени диагностични референтни нива (ДРН) за деца, като 64 % от тях са разработени след проведени национални проучвания на дозата, докато останалите се базират на публикувани чужди данни. През 2014 година стартира одобрения от Европейската комисия проект PiDRL, от който се очаква да бъдат предложени Европейски ДРН нива при педиатрични рентгенови изследвания.

Важен извод от множеството публикувани проучвания на радиологичната практика при деца е, че експонационните параметри при конвенционална графия и при КТ често не са съобразени с размерите и възрастта на пациента. КТ изследванията на деца и на възрастни се осъществяват с еднакви протоколи, т.е. с еднакви експонационни параметри на облъчване – анодно напрежение, количество електричество, време на ротация, стъпка на скениране и т.н., което води до няколко пъти по-високи стойности на органните дози и на ефективната доза при децата, отколкото при възрастните. В резултат, при използването на еднакви експонационни параметри за

изследването на възрастен и дете, радиационният риск за детето е многократно по-висок. Според оценките на Brenner, допълнителният риск за възникване на фатален рак вследствие на рутинно еднофазно КТ изследване, проведено през първата година от живота на дете, е 1 на 550 (0,18 %) за КТ на корем и 1 на 1500 (0,07 %) за КТ на глава, което е с около порядък по-висока стойност спрямо риска за възрастен пациент, изследван със същите експонационни условия. Използването на адаптирани КТ протоколи, съобразени с телесните размери на пациента, намалява значително този риск.

Проучванията на практиката в рентгеновата диагностика за деца у нас са малко и са свързани преди всичко с клиничните аспекти на прилагането на рентгеновите методи за диагностика.

Проучвания на дозите, получавани от деца при рентгенови изследвания са правени единствено от колектива на Националния център по радиобиология и радиационна защита, но те също са епизодични и обхващат малък брой изследвания и лечебни заведения.

Предишни проучвания на практиката при КТ изследвания на деца в България до момента не са публикувани. Липсват и проучвания за възможностите за оптимизиране на изследванията и за намаляване на лъчевото натоварване при тях.

Необходимо е систематично съвременно изследване на състоянието на радиационната защита на децата в педиатричната рентгенология у нас, за установяване на възможностите за намаляване на лъчевото натоварване при едновременно осигуряване на качествени диагностични образи.

2 Цел и задачи на дисертацията

Целта на настоящата работа е да се проучи практиката и дозите при най-често прилаганите рентгенови изследвания на деца и при тези с най-голям принос в лъчевото натоварване; да се проучат факторите, определящи дозата, и да се препоръчат и предложат оптимизирани протоколи за намаляване на лъчевото натоварване при осигуряване на качествена диагностична информативност на рентгеновите образи.

Постигането на тази цел изисква решаването на следните задачи:

1. Проучване на практиката в конвенционалната рентгенография и в компютърната томография при изследвания на деца в избран брой рентгенови отделения в страната, на базата на стандартизирани формуляри за регистриране и анализ на данните.
2. Сравняване на получените резултати със съществуващата добра практика при рентгенографски изследвания на деца и посочване на възможностите за оптимизиране на изследванията, с цел намаляване на лъчевото натоварване.
3. Сравняване на практиката при КТ изследвания на деца у нас с тази в други страни, чрез участие в международно проучване.
4. Разработване на методика за оптимизиране на изследванията, чрез групиране на децата по възрастови групи или друг подходящ признак, и създаване на алгоритъм за избор на експонационни параметри за всяка група.
5. Прилагане на разработената методика за оптимизиране в поне едно рентгеново отделение и проучване на постигнатия резултат за намаляване на дозата, при оценка на диагностичното качество на получаваните образи.

3 Материали и методи

3.1 Рентгенови уредби, включени в изследването

3.1.1 Конвенционални уредби за рентгенография

Изследванията бяха направени с четири конвенционални рентгенови уредби, рутинно използвани в четири болници на територията на гр. София: I - VILLA Sistemi Medicali, Mercury Plus; II - Philips Healthcare, Dunlee; III - PrimaX International, PrimaX; IV - Quantum Medical Imaging, Quantum. При уредба III се използват само дигитални касети за CR, при уредба IV - дигитални CR касети и ФФК, а при уредби I и II – ФФК.

3.1.2 Компютър-томографски уредби

Основната част от изследванията бяха направени с три КТ уредби, рутинно използвани в три различни университетски болници: I – Hitachi, CT-WS-17V; II – Toshiba, Aquilion 64 TSX-101A; III - General Electric, Bright Speed.

3.2 Използвани средства за измерване

3.2.1 Конвенционална рентгенова графия

Рентгеновите уредби III и IV разполагат с вградени средства за измерване на $P_{КА}$ (КАР-метър). При уредби I и II измерванията на $P_{КА}$ бяха направени с допълнително вграден дозиметър DIAMENTOR M4-KDK (PTW Freiburg, Германия) с трансмисионна йонизационна камера с площ на чувствителния обем 30 cm^3 . Неопределеността при измерванията за $P_{КА}$ е $< 1 \% \pm 1$ цифра в целия обхват.

Мултифункционален измерителен уред Barracuda бе използван за изпитванията за контрол на качеството на рентгеновите уредби. С една експонация твърдотелният детектор MPD измерва величините: точност на анодното напрежение и на времето на експонация, въздушна керма, мощност на въздушната керма, слой на полуотслабване и обща филтрация.

3.2.2 Компютърна томография

Изпитванията на уредбите за КТ бяха проведени с мултифункционален уред Barracuda (RTI Electronics, Швеция). Бяха използвани два детектора към Barracuda – йонизационна камера DCT10 RS и твърдотелен детектор MPD.

Цилиндричната въздушна йонизационна камера DCT 10 RS е с ефективна дължина на чувствителния обем 100 mm, калибрирана за измерване на C_{100} във въздух или във фантом, съгласно международния стандарт IEC 61223-2-6. Неопределеността при измерванията с DCT 10 RS е $\pm 5 \%$ или $16 \mu\text{Gy}\cdot\text{cm}/\text{s}$.

Средствата за измерване са калибрирани за измерване в обхват на анодни напрежения от 100 до 150 kV, мощност на доза от 0,1 mGy/s до 50 mGy/s и качество на лъчение RQT9 (120 kV, 0,25 mm Cu, 8,4 mm Al).

Barracuda бе използван и за изпитванията за контрол на качеството на КТ уредби. С една експонация се измерват величините: точност на анодно

напрежение и време на експонация, слой на полуотслабване и обща филтрация (в режим скенограма с MPD); интегрирана доза за 100 mm (в аксиален режим за една ротация с DCD 10 във въздух и във фантом).

3.3 Методи

3.3.1 Методи за дозиметрия при конвенционална рентгенова графия

Дозата на пациента беше измервана или пресмятана във величините произведение керма площ, P_{KA} , и входяща въздушна керма, K_e . K_e беше пресмятана, с цел сравняване на получените резултати с публикувани данни.

При пресмятанията бе използван фактор на обратно разейване $B = 1,1$ за деца с дебелина на тялото под 5 cm, независимо от възрастта им, и $B = 1,3$ за всички останали деца.

Дозиметричните величини за оценка на радиационния риск органа (тъканна) доза, D_T , и ефективна доза бяха определяни с помощта на софтуерен продукт PCXMC Dose calculations Version 2.0 (STUK, Финландия).

3.3.2 Методи за дозиметрия при КТ

Дозата при КТ бе определяна чрез измеримите дозиметрични величини компютър-томографски индекс на въздушната керма, $C_{a,100}$ и произведение въздушна керма-дължина, P_{KL} . От тях, ефективната доза бе оценена по два различна метода, с използването на конверсионни коефициенти, публикувани от Shrimpton и сътр. и Chaplle и сътр.

3.3.3 Разделяне на децата по групи

Противоречивите мнения за групирането на децата бе причина за провеждане на самостоятелно проучване относно избора на критерий за групиране. От регистрираните данни за телесната маса и височина на пациента бе пресмятан еквивалентният диаметър на пациента (EPD).

За избора на критерий за групиране на децата бяха построени функционални зависимости между дозиметричните величини – K_e и P_{KA} , и възрастта, телесната маса и EPD . На базата на получените резултати бе направен изборът за критерий за групиране на пациентите.

3.3.4 Проучване на практиката при конвенционална рентгенова графия

За всяка рентгенова уредба в разработен стандартизиран формуляр бяха регистрирани данни за всеки пациент, използваната рентгенографска техника и експонационни параметри, произведение керма-площ, P_{KA} , въздушната керма K за уредбите, при които е използван дозиметъра DIAMENTOR M4-KDK и оценка за качество на образа.

3.3.5 Проучване на практиката при КТ

В специално разработени формуляри бяха регистрирани данни за всеки пациент, използван КТ протокол и техника на извършване на изследването, експонационни данни и данни за дозата на пациента от дисплея – C_{vol} и P_{KL} .

Проучването в България бе част от мащабно международно проучване, организирано от МААЕ на тема „Радиационна защита в педиатричната КТ”, подготовката на методологията и анализа на резултатите за което беше възложена на нашия колектив и бе част от работата по дисертацията.

За целите на проекта бяха разработени етапите и 6 формуляра, с които да се получи информация за практиката при КТ изследвания на деца. В I формуляр бяха записвани основни данни за КТ уредбата, броя на проведените през 2007 г. и 2009 г. КТ изследвания на глава, торакс и абдомен за възрастни и деца, както и типичните експонационни параметри от рутинните протоколи. II и III формуляр бяха разработени като въпросници към рентгенолога (11 въпроса) и рентгеновия лаборант (21 въпроса). Формуляри IV и V бяха за целите на ретроспективното проучване с данни от проведени изследвания на деца през 2007 г. и 2009 г. Проспективното проучване с данни за проведени изследвания на деца през 2010 г. се осъществи с помощта на формуляр VI. За целите на проучването децата бяха разделени в четири възрастови групи: (< 1 г.), (1-4 г.), (5-9 г.), (10-15 г.).

4 Резултати и обсъждане

4.1 Разделяне на децата по групи

В началото на изследването, с цел избор на критерия, по който да бъдат групирани децата за по-нататъшните проучвания, бяха регистрирани и анализирани основни антропометрични данни (телесна маса, височина, дебелина и ширина на изследваната област от тялото, еквивалентен диаметър и възраст) за 255 пациенти в 3 рентгенови отделения.

От получените резултати, както и при съобразяване на публикуваните норми и използваните от други автори групи и препоръки от литературата, бяха направени няколко варианта на групиране, във всяка от които телесната маса бе в рамките на 5 и 95 перцентил на нормите. Бяха направени четири различни варианта за групиране в зависимост от телесната маса и EPD на пациента. За всяка от групите бяха пресметнати средноаритметичната, минимална и максимална стойност за възрастта, телесната маса и еквивалентния диаметър на извадката от пациенти, както и медианата и стандартното отклонение. Стандартното отклонение на телесната маса и EPD съответно за I вариант на групиране на децата е в интервала (24-36 %) и (9-15 %), при вариант II – (17-36 %) и (7-15 %), вариант III – (25 - 37 %) и (10-16 %) и вариант IV – (30-37 %) и (11-14 %).

Резултатите за средноаритметичната стойност и стандартното отклонение, получени при четирите варианта за групиране на децата, са много близки помежду си. Достоверността на разликите между отделните групи бе оценена чрез t-критерия на Стюдънт.

При разглеждането на морфологичните, функционални и физиологични промени в детския организъм и на базата на направените анализи и сравнения, бяха избрани следните възрастови групи за целите на дозиметрията на пациента: (0-1 м.); (1 м.-12 м.); (1-4 г.); (5-9 г.) и (10-15 г.). Крайният избор бе съобразен с използваните в различни литературни източници възрастови групи за целите на дозиметрията, за да могат да бъдат сравними резултатите от текущите проучвания с установените от различни автори диагностични референтни нива при педиатрични рентгенови изследвания.

За целите на оптимизацията на торакалните и абдоминалните конвенционални и КТ изследвания, децата бяха разделени на групи по възраст и телесна маса. Избраните групи са следните: (<1 г.), (1-4 г.), (> 3 г. и слаби (5-9 г.)), (слаби (10-15 г.) и по-едри (5-9 г.)) и (едри (10-15 г.)).

При изследвания в областта на главата се спряхме на избора за групи по възрастов критерий, т.к. отслабването на рентгеновото лъчение при преминаването му през черепа в голяма степен зависи от дебелината и плътността на костта, която се променя с възрастта. Избраните групи са следните: (0-1 м.); (1 м.-12 м.); (1-4 г.); (5-9 г.) и (10-15 г.). Счита се, че след 6 годишна възраст размерът на черепа и плътността на костта се доближават до

тези на възрастните и се допуска използването на експонационни параметри подходящи за изследването на възрастен пациент, както и сливането на двете възрастови групи (5-9 г.) и (10-15 г.) в една.

4.2 Проучване на практиката и дозите на пациентите при рентгенова графия

Проучването на практиката и дозите при рентгенови изследвания на деца бе проведено в периода 2009-2011 година в четири рентгенови кабинета в четири различни болници на територията на гр. София, от които една голяма университетска болница с рентгенов кабинет в детската клиника за белодробни заболявания; специализирана болница за активно лечение на белодробни заболявания с рентгенов кабинет, в който се изследват предимно възрастни пациенти; многопрофилна болница за активно лечение без специална педиатрична и белодробна насоченост и университетска болница с насоченост за лечение на деца, в която рентгеновата уредба се използва основно за педиатрични рентгенови изследвания. Включени бяха общо 457 рентгенографии на деца на възраст до 15 г.

Проучването бе фокусирано основно върху рентгенографията на бял дроб, която е най-често провежданото рентгеново изследване на деца в България, съставляващо 46 % от общия брой рентгенови изследвания и процедури на деца на възраст от 0 до 15 години за 2013 г. и 55 % от всички конвенционални рентгенографии. Включени бяха 269 рентгенографии на бял дроб (АР и РА проекция) за деца на възраст от 0 до 15 години.

В проучването бяха регистрирани данни и за други рентгенографски изследвания. Поради малкия им брой, резултатите от тези изследвания не са включени в анализа.

Всички пациенти бяха групирани за анализа в четири възрастови групи: < 1 м., 1 – 12 м., 1 – 4 г., 5 – 9 г. и 10 – 15 г. Във възрастовата група < 1 м. не бяха регистрирани изследвания, поради спецификата на отделенията, в които бе проведено изследването.

Анализът бе направен по възрастови групи за всяка от четирите рентгенови уредби. За уредба III проучването бе проведено в два етапа. Първият етап, проведен през 2009-2010 г., включи 109 рентгенографии на бял дроб. При него беше направен диференциален анализ на практиката на двамата рентгенови лаборанти, за да се изследва степента на стандартизираност на процедурите и влиянието на субективния фактор върху дозите на пациентите. Първият рентгеновият лаборант (лаборант 1) с над 30 години трудов стаж, а втория (лаборант 2) – без опит, в началото на практиката си. Вторият етап от изследването, проведен през 2010-2011 г., включва 62 рентгенографии, проведени от лаборант 2 по стандартизираните оптимизирани протоколи, описани в т. 4.2.7.

4.2.1 Използвана проекция и противодифузионно устройство

Резултатите за рентгенографията на бял дроб бяха анализирани според вида на позициониращото устройство (маса или вертикален статив), използваната проекция (РА или АР) и използваното противодифузионно устройство.

Общо 195 (72,5 %) от белодробните рентгенографии бяха направени в РА проекция и 74 (27,5 %) – в АР проекция. За уредба I АР проекцията бе използвана при 4 (100 %) пациенти на възраст (1-12 м.), 8 (60 %) за (1-4 г.), при нито един пациент в групата (5-9 г.) и 1 (4 %) за (10-15 г.). За уредба II АР проекцията бе използвана при 8 (89 %) пациента на възраст (1-4 г.) и 1 (67 %) в групата (5-9 г.). За уредба III и рентгенов лаборант 1 АР проекцията бе използвана при 11 (100 %) пациента на възраст (1-12 м.), 32 (74 %) за (1-4 г.) и при нито един в групите (5-9 г.) и (10-15 г.). За уредба III и рентгенов лаборант 2 АР проекцията бе използвана при 10 (100 %) пациента на възраст (1-12 м.), 12 (80 %) за (1-4 г.) и при нито един в групите (5-9 г.) и (10-15 г.). За уредба IV АР проекцията бе използвана при 5 (100 %) пациента на възраст (1-12 м.), 5 (71 %) за (1-4 г.), 3 (75 %) за (5-9 г.) и 1 (14 %) за (10-15 г.). 50 (26 %) от тях бяха проведени в легнало положение на пациента, а останалите 145 (74 %) – в изправено пред вертикален статив с противодифузионна решетка.

АР проекцията се използва в 100 % от изследванията на деца под 1 година във всички рентгенови отделения. 100 % от децата са изследвани в легнало положение на хоризонталната маса.

За децата на възраст над 1 година бе установена липса на стандартизираност в практиката и необосновано използване на АР проекция, вместо стандартната РА проекция. В случаите на използване на вертикален статив, РА проекцията се използва в 90 % от случаите при уредба I, при 33 % при уредба II, за 100% при уредба III и в 64 % от случаите при уредба IV. При останалите позиционирани на вертикалния статив пациенти, белодробната рентгенография е извършена в АР проекция – при 5 пациента за уредба I, 6 при уредба II, и 5 при уредба IV. При уредба III не се установява практика за използване на АР проекция в случаите на позициониране на статива.

В отделения I и III противодифузионна решетка се използва дори при деца под 5 г. При тази възраст тялото на детето е с малка дебелина и със слаби разсейващи свойства, поради което няма нужда от противодифузионно средство.

4.2.2 Размер на преобразувателя на образа и на лъчевото поле

Установено бе често използване на размер на преобразувателя на образа, несъобразен с размера на изследваната област. Напр. при уредба III (лаборант I) за възрастова група 5-9 г. средноаритметичната стойност за ширината на пациента в латерална проекция е 21 см, а за ширината на преобразувателя на образа е 28 см. При 86 % от пациентите е направен

грешен избор на преобразувател на образа с размери 35x35 cm, при размер на тялото, съответстващ на касета 24x30 cm. При уредба III (лаборант 2) за деца от групата (10-15 г.) винаги се използва размер 35x35 cm. Грешен избор е направен при 31 % от децата. При уредба I и група (10-15 г.) са използвани три размера рентгенови касети – 24x30 cm, 30x40 cm и 35x35 cm. По-големите размери касети са излишно използвани в 70 % от случаите. Единствено уредба I разполага с набор от преобразуватели на образа с различни размери, вкл. размер 18x24 cm, подходящ за деца под 5 годишна възраст.

Таблица 1. Използвани размери на преобразувателя на образа и размери на лъчевото поле. MIN, MAX и AV са съответно минималната, максималната и средноаритметична стойност.

Възр. група	Рентг. уредба/ лаборант	Размер на преобразувателя на образа, cm		Размер на лъчевото поле върху масата/статива					
				x			y		
				MIN	MAX	AV	MIN	MAX	AV
1-4 г.	IV	24	30	24	33	28	26	30	28
	II	24	30	24	33	30	23	31	27
5-9 г.	I	24	30	24	41	31	23	43	32
	IV	24	30	22	31	28	29	34	31
	II	24	30	31	34	33	29	36	32
10-15 г.	I	35	35	21	50	38	26	54	43
	III-лаборант 1	35	35	27	41	34	29	46	36
	III-лаборант 2	35	35	31	42	36	26	40	35

В таблица 1 са съпоставени използваният размер на преобразувателя на образа по x и y (съответно ширина и дължина) и размерите на лъчевото поле при белодробна рентгенография. При четирите рентгенови уредби се използва лъчево поле с размери, по-големи от преобразувателя на образа. Установено бе използване на максималния размер на лъчевото поле без блендиране в 24 % от изследванията при уредба I (10-15 г.). В случаите на блендиране се използва настройката на апарата за автоматично ограничаване на лъчевото поле до използвания преобразувател на образа, като полето не е съобразено с анатомичните и антропоморфни особености на отделния пациент.

Препоръчва се при деца да се използва ръчен режим за блендиране на полето, при който лъчевото поле остава в предварително очертаните и желани граници.

За изследване на ефекта от избор на размер на лъчевото поле върху дозата на пациента бе направена оценка на органните и ефективната дози със софтуерния продукт РСХМС. В таблица 2 е показан пример от това изчисление за рентгенография на бял дроб в AP проекция на 7 месечно бебе с използване на еднакви експонационни параметри, но при три различни сценария за блендиране на полето: при максимално отворено блендиращо устройство; при автоматично отваряне на блендата по размера на

използвания филм, и при размер на лъчевото поле, съобразено с анатомичните особености на пациента.

Таблица 2. Органни дози при рентгенография на бял дроб в AP проекция на 7 месечно бебе. Използвани са три сценария на блендиране на лъчевото поле –максимално отворена бленда с поле 45/50 cm; реално използвано поле 22/22 cm и правилно блендирано лъчево поле 18/14 cm.

FSD = 88 cm			
64 kV, 2.4 mAs			
размер на касетата, cm	18/24		
размер на полето върху пациента, cm	45/50	22/22	18/14
падаща въздушна керма, μGy	530	530	530
оварии	284	179	11
тестиси	572	17	3
млечни жлези	1019	627	622
червен костен мозък	190	77	55
бял дроб	255	245	234
стомаш	383	355	303
щитовидна жлеза	572	499	163
дебело черво	248	198	29
ефективна доза (ICRP103), μSv	384	258	191

Най-голяма, от 20 до 100 пъти, е разликата в дозата в гонадите, които при лошо блендиране попадат в облъчваното поле. Дозата в дебелото черво е 10 пъти по-голяма, а в резултат - ефективната доза е 2 пъти по-голяма при максимално отворена бленда спрямо ограничаването до областта на интерес.

Дозата във всички органи е най-голяма при максимално отворена бленда, което се дължи на попадането в първичния сноп на повече органи, но и поради по-големия принос на разсеяното лъчение. При лошо блендиране в първичния сноп попадат главата, корема и гонадите.

Допълнителен ефект от използването на лъчево поле, по-голямо от областта на интерес, е намаляването на контраста на образа в резултата на увеличеното разсеяно лъчение.

Лъчевото поле трябва да се ограничава до минимално възможното, съгласно търсената клинична находка и като се следят външните анатомични репери.

4.2.3 Използване на лъчезащитни средства

Пренебрегва се използването на оловно-гумени защиты или адекватно блендиране за намаляване на облъчването на лъчечувствителните органи. При уредба II никога не се използват индивидуални лъчезащитни средства. При белодробна рентгенография на хоризонталната маса с уредби I, III и IV винаги се използват индивидуални лъчезащитни средства. При белодробна рентгенография на вертикалния статив на уредби I и IV индивидуални лъчезащитни средства – тип пола не се използват при 100 % от пациентите. При уредба III липсват индивидуални лъчезащитни средства-тип.

Специални лъчезащитни средства за защита на гонадите трябва да се прилагат във всички възможни случаи при изследвания на малки деца. Установи се, че това е добре известен факт за рентгеновите лаборанти, но много често пренебрегван и подценяван в ежедневната практика.

4.2.4 Избор на експонационни параметри

При рентгенова уредба I изборът на експонационни параметри бе ръчен съответно при 69 % от пациентите, а за уредби II и IV при 100 %. При ръчния избор рентгеновият лаборант избира стойностите на анодното напрежение и количеството електричество. При уредба III за 100 % от децата бе използван автоматичен избор на данни с помощта на АЕС, при който се избира анодното напрежение и допълнително може да се контролира анодният ток.

На фиг. 1 и фиг. 2 са представени зависимостите от възрастта на пациента съответно на използваните анодно напрежение и количество електричество, за всяка от четирите рентгенови уредби. За уредба III анализът е диференциран за двамата рентгенови лаборанти.

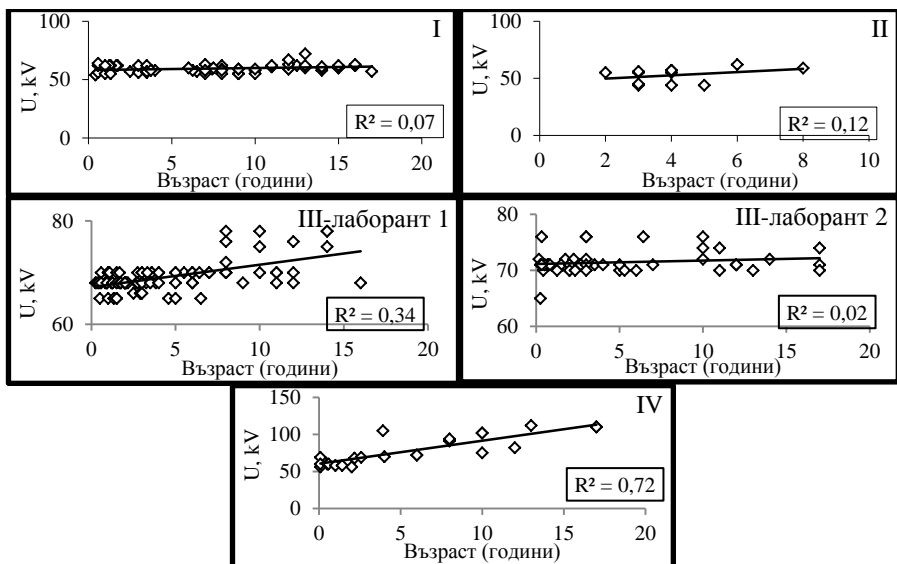
Анодното напрежение при деца от една и съща възраст варира значително, като най-големи са разликите (до 49 kV) между пациентите при уредба IV.

Правилата за добра практика препоръчват използването на максимално възможния аноден ток за определено анодно напрежение, с цел получаването на времена на експонация под 10 ms за деца и под 20 ms за големи деца и възрастни пациенти, за да се избегне получаването на динамична нерязкост на образа от движението на сърцето и белия дроб по време на експонацията.

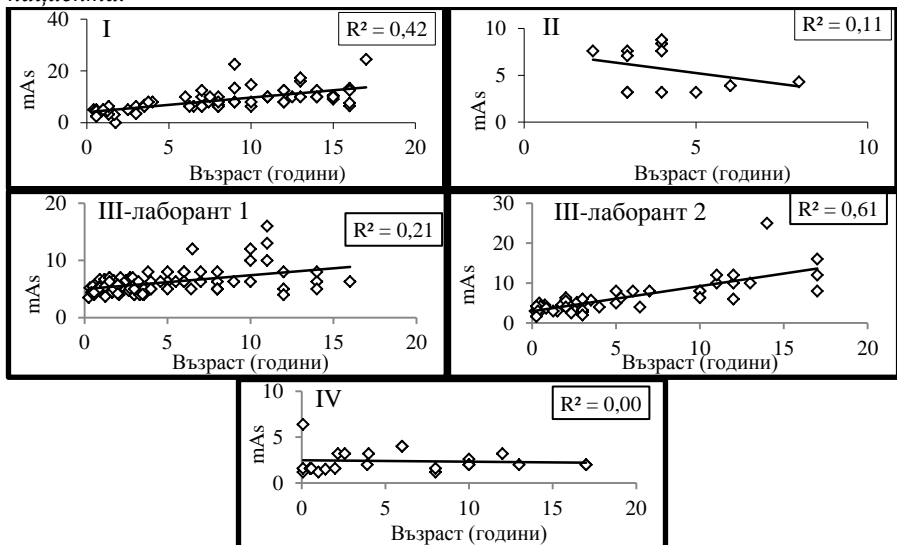
Причината за слабото увеличаване на големината на количеството електричество с възрастта на пациентите при уредба I е в използването на АЕС при 30 % от пациентите.

АЕС се използва и от двамата рентгенови лаборанти при уредба III. При нея настройката на АЕС изисква максималният аноден ток да се избере от рентгеновия лаборант, като стойността му по подразбиране е 250 mA. Лаборант 1 използва 250 mA при 70 % от пациентите и 320 mA при останалите 30 %. В резултат на избора на аноден ток, съобразен с възрастта на пациента, времето на експонация варира в интервала 13-64 ms. Лаборант 2 използва само 250 mA, в резултат на което времето на експонация при по-големите деца нараства до 100 ms.

При 63 % от рентгенографиите на бял дроб при уредба I и 56 % при уредба III (лаборант 1), при автоматичен избор на данни, се избират неправилно едновременно и трите доминанти на експоната, а при останалата част, както и при 100 % от рентгенографиите при уредба III (лаборант 2) – двете странични, независимо от възрастта на изследваните деца. При използване на експоната за графия на бял дроб се препоръчва избирането на дясна странична доминанта.



Фиг. 1. Използвано анодно напрежение в зависимост от възрастта на пациента.



Фиг. 2. Използвано количество електричество в зависимост от възрастта на пациента.

Установените препоръки за добра практика изискват за рентгенография на торакса (бял дроб и сърце) при новородени да се използва анодно напрежение 60-65 kV. Противодифузионна решетка при тази възрастова група не е нужна, поради малкия принос на разсеяното лъчение. При изследване на костните структури в торакса се препоръчват и по-ниско анодно напрежение, увеличаващо контраста. При деца над 1 месец се препоръчват напрежения в интервала 60-80 kV. При юноши и едри деца - 100 kV и 150 kV, а поради нарастване на разсеяното лъчение при тези напрежения и по-големите дебелени на тялото, е необходимо използването на противодифузионна решетка.

4.2.5 Дози на пациентите при белодробна рентгенография

Средноаритметичните стойности на K_e варират от 0,04 mGy до 0,55 mGy (таблица 3). Установи се до 2,5 пъти разлика в K_e между различните възрастови групи за дадена рентгенова уредба.

Таблица 3. Средноаритметични стойности на K_e . В скоби са представени максималните и минимални стойности за K_e ; за сравнение са посочени съответните ДРН в различни държави.

		1-12 м.	1-4 г.	5-9 г.	10-15 г.
K_e , [mGy] (в това проучване)	I	0,45 (0,13-0,69)	0,17 (0,06-0,27)	0,22 (0,09-0,72)	0,33 (0,10-1,58)
	II	-	0,16 (0,06-0,23)	0,11 (0,06-0,13)	-
	IV	0,08 (0,03-0,23)	0,04 (0,02-0,07)	0,06 (0,03-0,09)	0,06 (0,04-0,08)
	III-1	0,13 (0,08-0,18)	0,13 (0,06-0,28)	0,13 (0,08-0,21)	0,19 (0,09-0,37)
	III-2	0,14 (0,09-0,26)	0,16 (0,07-0,42)	0,16 (0,10-0,24)	0,28 (0,02-0,55)
	UK 2000	0,05	0,07	0,12	-
ДРН/ K_e , [mGy]	EUR 16261	0,1	0,1	-	-
	UK	0,09	0,15	-	0,1
	RP 109	0,08	0,1	-	-
	DDM 2	0,08	0,08	0,1	0,1
	Ирландия	0,057	0,053	0,066	0,088

Индивидуалните стойности на K_e за пациентите варират от 0,02 до 1,58 mGy. Разликата в индивидуалните стойности за децата от една и съща възрастова група е най-голяма при уредба I – от 4,5 до 15,8 пъти, като максималната е за децата на възраст (10-15 г.).

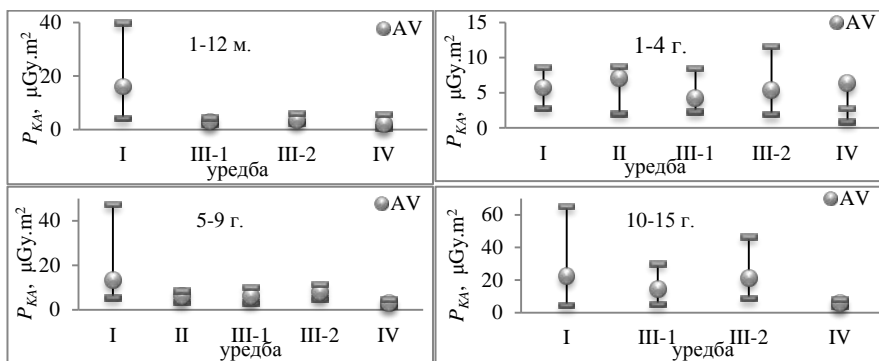
Най-високи стойности на K_e се получават при уредба I и при уредба III (лаборант 2). Получените стойности на K_e при уредби I, II, III (лаборант 1) и III (лаборант 2) са по-високи от тези, получени при подобни проучвания в други страни. Основни причини са използването на по-ниски стойности на анодното напрежение, по-дълги времена на експонация от препоръчаните, неподходящ размер на преобразувателя на образа и недостатъчно блендиране

на лъчевото поле. При уредба II допълнителна причина е използването на ФФК с по-нисък клас на чувствителност (200), а при уредба III – неоптималната настройка на АЕС.

В резултат на използването на статив с противодифузионна решетка и РА проекция при четирите уредби средноаритметичната стойност на K_e при РА проекцията е по-голяма от тази при АР проекцията с 20-50 %.

Липсва корелация между стойностите на K_e и използваното анодно напрежение. Коефициентът на детерминация, R^2 , варира от 0,02 (III – лаборант 1 и IV) до 0,4 (II). При уредба I липсва корелация между стойностите на K_e и количеството електричество ($R^2=0,1$). При уредба III – лаборант 2 не се установява добра корелация между K_e и използваното количество електричество. За останалите уредби се установява корелация, като тя е най-силна при уредба II. Липсата на корелация между стойностите на K_e и експонационните параметри може да се обясни и с преобладаващия емпиричен избор на работни данни, несъобразен с телесните размери на даденото дете. Този извод се подкрепя и от установените по-горе големи вариации в използваните експонационни параметри при пациентите от една и съща възрастова група (таблица 6, фиг. 1, и фиг. 2).

Аналогични резултати се получават и за величината P_{KA} , представени на фиг. 3. Установи се до 5 пъти разлика в P_{KA} между различните възрастови групи за конкретна рентгенова уредба; максимална е разликата за уредба I, и разлика от 3 до 8 пъти за деца от една възрастова група между различните уредби, максимална за възрастова група (10-15 г.).



Фиг. 3. Средноаритметична стойност на P_{KA} за различните възрастови групи и рентгенови уредби.

4.2.6 Органични дози и ефективна доза за уредба III преди оптимизацията

Органните дози и ефективната доза при рентгенография на бял дроб бяха пресметнати за уредба III, с цел изследване на ефекта върху дозите на пациентите на установената по-горе разлика в практиката на двамата

рентгенови лаборанти. В таблица 4 са представени стойностите на E , а за сравнение са показани резултати от подобни проучвания в други страни.

Таблица 4. Средноаритметични стойности за E за рентгенография на бял дроб. В скоби са показани максималните и минимални стойности за E . III-1, III-2 и III-опт. са съответно получените дози при работата на първия и втория рентгенов лаборант и след оптимизиране на практиката в отделението. За сравнение са посочени стойности от други източници.

		1-12 м.	1-4 г.	5-9 г.	10-15 г.
E , mSv, в това проучване (по ICRP 103)	III-1	0,04 (0,03-0,06)	0,03 (0,01-0,07)	0,017 (0,01-0,02)	0,02 (0,01-0,04)
	III-2	0,05 (0,04-0,07)	0,05 (0,01-0,13)	0,03 (0,02-0,04)	0,03 (0,02-0,05)
	III-опт.	0,01 (0,008-0,02)	0,01 (0,005-0,02)	0,01 (0,008-0,02)	0,02 (0,005-0,03)
	EUR 16261	0,01	0,01	-	-
E , mSv	Brindhaban	0,012	-	-	-
	UK	0,006-0,01	0,01-0,02	-	-
	AAP 2011	0,01	-	-	-
	UNSCEAR	0,01	0,01	0,01	0,01

Най-голямо е лъчевото натоварване на пациентите до 4 г. Пациентите от група (1-12 м.) и (1-4 г.) получават близки стойности на E . Основна причина е използването на AP проекция при 100 % от пациентите от група (1-12 м.) и при над 74 % (III – лаборант 1) и 80 % (III- лаборант 2) от пациентите на възраст (1-4 г.). В резултат, дозата на млечната жлеза при групите (1-12 м.) и (1-4 г.) е с около 90 % по-голяма, а E – до 55 %, в сравнение с групи (5-9 г.) и (10-15 г.). Използването на PA проекция намалява дозата на млечната жлеза до 10 пъти, без промяна на качеството на образа.

Получените стойности за E при практиката и на двамата рентгенови лаборанта превишават тези от други подобни проучвания. Най-голяма, до 5 пъти, е разликата в стойностите на E при децата във възрастовите групи (1-12 м.) и (1-4 г.) (таблица 4).

4.2.7 Алгоритъм за оптимизиране на рентгеновите изследвания на бял дроб при деца

Анализът на дозите на пациентите и използваните експонационни параметри в първия етап на изследването показва наличието на голям потенциал за оптимизация на изследванията. Алгоритъмът за оптимизиране на клиничните протоколи за деца бе изграден и приложен в отделение III.

Оптимизацията включва избор на рентгенографска техника и експонационни параметри според телесната маса и възраст на пациента. Този избор е индивидуален за всяка рентгенова уредба и трябва да е съобразен с товарните характеристики на рентгеновата тръба, мощността на високоволтовия генератор и филтрацията на рентгеновото лъчение.

Оптималният избор се съобразява с вида и чувствителността на преобразувателя на образа.

РА проекция трябва да се използва за всички пациенти при белодробна рентгенография, освен в случаите, при които това е неосъществимо поради здравословно състояние на пациента, много малка възраст, страх и др.

Експонационните параметри от първия етап на проучването бяха избрани като базови при следващите стъпки от оптимизационния процес. Експонационните параметри бяха адаптирани внимателно и на последователни стъпки, според телесната маса и възрастта на пациента. Изборът им бе съобразен и с наличните препоръки за качество на образа при рентгенография на деца и използването на универсални работни таблици, базирани на точковата система на Claasen.

Таблица 5. Препоръчани експонационни параметри и рентгенографска техника за петте възрастови групи и според телесната маса на пациента.

Група (възраст/ телесна маса)		Препоръчани експонационни параметри и рентгенографска техника				
	позици- ониране	АЕС	U, kV	I.t, mAs	I, mA	t, ms
1-12 м.	маса	не	65	1,6	320	5
1-4 г.	маса	не	70	1,6	320	5
> 3 г. и слаби 5-9 г.	статив	не	75	2,5	320	8
слаби 10-15 г. и по-едри 5-9 г.	статив	не	80	2,5	320	8
едри 10-15 г.	статив	да	90	-	400	-

В резултат на оптимизацията бяха изработени протоколи за провеждане на рентгенографията на бял дроб на деца с уредба III, представени в таблица 5.

Във втората фаза на проучването бе изследван ефектът от оптимизацията върху дозата на пациента и качеството на образа. Резултатите са представени в таблица 6 и таблица 7.

Отделено бе внимание на обучението на рентгеновите лаборанти в отделението за използване на разработените оптимизирани протоколи, избор на РА проекция при белодробна рентгенография и само по изключение на AP проекция, избор на подходящ размер на рентгеновата касета, правилно блендиране на лъчевия сноп и използване на лъчезащитни средства.

Установено бе намаляване на процента на използване на неподходящ размер на преобразувателя на образа. Данните от съпоставянето на използваният размер на преобразувателя на образа по x и y и размерите на лъчевото поле показват по-добро блендиране на лъчевото поле при работата на лаборант 1, който е с над 30-годишна практика. Бе прекратена практиката за използване на автоматично блендиране на лъчевото поле по размерите на рентгеновата касета, но липсата на опит при лаборант 2 не доведе до подобряване на блендирането. От най-голямо значение за защитата на

лъчечувствителните щитовидна жлеза и гонади е ограничаването на лъчевото поле по оста у до областта на интерес, т.е. по дължината на торса.

Бе препоръчано използването на противодифузионна решетка само при юноши и пациенти със специални клинични показания и никога за деца под 1 месец. Тъй като противодифузионната решетка на вертикалния статив и на масата при тази уредба не са лесно отстраними, бе препоръчано нейното използване при кооперативни деца, които могат свободно да застават с лице към вертикалния статив, независимо от възрастта им. За останалите пациенти, изследвани легнали върху масата, рентгеновата касета бе поставяна под пациента, а не в касетоносача, при изключен експонимат.

Субективна оценка на качеството на образа по специфични анатомични и клинични критерии бе направена за всички пациенти, включени в процеса на оптимизация. При 6 (17 %) образът бе леко зърнист, но задоволителен, като не се възпрепятства правилното поставяне на диагнозата и не се налага повторно изследване. При тези пациенти не са съобразени телесните размери, а единствено възрастта, водеща до избор на по-ниски експонационни данни. При всички останали качеството на образа бе оценено като адекватно.

След оптимизацията AP проекцията бе използвана при 9 (100 %) пациенти на възраст (1-12 м.), 13 (76 %) за (1-4 г.) и при нито един в групите (5-9 г.) и (10-15 г.). Използването на AP проекция намалѐ с 4 % за група (1-4 г.) и се затвърди практиката за провеждане на белодробната рентгенография за деца над 5 години в PA проекция, в изправено положение на тялото, с лице към вертикалния статив. За 100 % от пациентите, позиционирани на вертикалния статив при белодробна рентгенография, се използва PA проекция.

Работата на експонимата бе оптимизирана за използване на 320 mA при деца до 10 г. и 400 mA за по-големи деца и възрастни.

Таблица 6. Стойности за анодното напрежение и количеството електричество, преди и след оптимизацията. MIN, AV и MAX са съответно минималната, средноаритметичната и максимална стойности.

Възрастова група	Рентгенова уредба	Експонационни параметри					
		kV			mAs		
		MIN	MAX	AV	MIN	MAX	AV
1-12 м.	III – лаборант 1	65	70	68	3,5	6,7	4,9
	III – лаборант 2	70	76	72	3,0	5,0	3,8
	III – след оптимизацията	65	65	65	1,6	1,6	1,6
1-4 г.	III – лаборант 1	65	70	68	3,7	8,0	5,4
	III – лаборант 2	70	76	72	2,7	6,3	4,6
	III – след оптимизацията	65	75	70	1,6	3,2	1,9
5-9 г.	III – лаборант 1	65	78	70	5,0	12,0	6,6
	III – лаборант 2	70	76	71	4,0	8,0	6,6
	III – след оптимизацията	75	80	76	1,6	3,2	2,5
10-15 г.	III – лаборант 1	68	78	73	4,0	16,0	8,5
	III – лаборант 2	70	76	72	6,0	25,0	11,2
	III – след оптимизацията	70	90	78	2,4	20,0	5,8

От автоматичен избор на анодно напрежение в 100 % от случаите, се премина към автоматичен избор на анодно напрежение и допълнително контролиране на анодния ток (таблица 6). Само за един от пациентите от група (10-15 г.) бе използван АЕС с избор единствено на анодно напрежение, довело до над 2 пъти по-висока доза.

В резултат на избора на оптимизирани стойности от таблица 5 за анодния ток, съобразени с възрастта на пациента и телесните размери на пациентите, времето на експонация се намали до под 10 ms за 91 % от пациентите. Само при трима пациенти (9 %) бе надхвърлено оптималното време на експонация, като при двама от тях не са използвани оптимизираните експонационни параметри (времето е 12,5 ms), а при единия е използван експонацията в режим на избор само на анодното напрежение (20 ms).

Таблица 7. Средноаритметични стойности за K_e преди и след оптимизацията. В скоби са представени максималните и минимални стойности. За сравнение са посочени съответните ДРН в други страни.

		1-12 м.	1-4 г.	5-9 г.	10-15 г.
K_e [mGy] (в това включва се)	III-1	0,13 (0,08-0,18)	0,13 (0,06-0,28)	0,13 (0,08-0,21)	0,19 (0,09-0,37)
	III-2	0,14 (0,09-0,26)	0,16 (0,07-0,42)	0,16 (0,10-0,24)	0,28 (0,02-0,55)
	III-след оптимизацията	0,03 (0,02-0,09)	0,04 (0,02-0,11)	0,07 (0,05-0,09)	0,07 (0,05-0,13)
	UK 2000	0,05	0,07	0,12	-
ДРН/ K_e [mGy]	EUR 16261	0,1	0,1	-	-
	UK	0,09	0,15	-	0,1
	RP 109	0,08	0,1	-	-
	DDM 2	0,08	0,08	0,1	0,1
	Ирландия	0,057	0,053	0,066	0,088

Таблица 8. P_{KA} за уредба III, преди и след предприемане на стъпки за оптимизиране на практиката в отделението.

Възрастова група	Уредба	P_{KA} , $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$		
		MIN	MAX	AV
1-12 м.	III – лаборант 1	1,90	4,37	3,01
	III – лаборант 2	2,57	6,18	3,59
	III – след оптимизацията	0,48	0,95	0,70
1-4 г.	III – лаборант 1	2,28	8,46	4,31
	III – лаборант 2	1,90	11,59	5,36
	III – след оптимизацията	0,95	1,43	1,17
5-9 г.	III – лаборант 1	3,14	10,17	6,05
	III – лаборант 2	4,94	11,59	8,06
	III – след оптимизацията	2,57	4,66	3,65
10-15 г.	III – лаборант 1	4,94	30,02	14,51
	III – лаборант 2	8,65	46,46	21,11
	III – след оптимизацията	3,42	9,98	5,53

Продължи практиката за избор едновременно и на двете странични доминанти на експоната, противно на препоръките за добра практика.

В таблица 7 и таблица 8 са представени данните за K_c и P_{KA} преди и след оптимизацията и публикуваните ДРН и типични дози.

Използването на подходящ размер на филма, достатъчно блендиране и РА-проекция (когато е възможно), доведе до намаляване на средната доза на млечната жлеза до 10 пъти и дозата на белите дробове при деца под 12 месеца между 1,7 (от 0,081 mSv до 0,049 mSv за бял дроб и от 0,013 mSv до 0,008 mSv за млечна жлеза) и до над 5 пъти (от 0,059 mSv до 0,012 mSv и от 0,110 mSv до 0,018 mSv за млечна жлеза).

Като част от процеса на оптимизация бе въведена практика за вписване на измерената дозиметрична величина P_{KA} в медицинската документация, която остава на съхранение в рентгеновото отделение. Записването на данните е с цел периодичен анализ за изработването на типичните дози за рентгеновата уредба по вид изследване и възрастова група на пациента и сравняването им с националните ДРН. Бе проведено обучение на медицинския персонал за смисъла на типичните дози, ДРН и тяхното използване.

Изготвеният алгоритъм за оптимизиране на практиката и клиничните протоколи за деца включва следните стъпки:

- 1) измерване и оценка на дозата с едновременно регистриране и анализиране на рентгенографската техника (позициониране, експонационни параметри, лъчезащитни и обездвижващи средства и др.);
- 2) проучване на добрата рентгенографска практика и препоръките от литературата;
- 3) изготвяне и прилагане на протоколи за изследванията по възрастови групи и телесни размери на пациента, съобразени с техническите характеристики на рентгеновата уредба;
- 4) субективна оценка на качеството на образа по специфични анатомични и клинични критерии;
- 5) нова оценка на дозата и ефекта от оптимизацията.

Чрез използвания алгоритъм за оптимизация бе постигнато намаляване на дозата (P_{KA} , органна доза, ефективната доза) между 1,5 и над 6 пъти при различните възрастови групи. Получените рентгенови образи бяха с добро диагностично качество. Бе намален субективизмът и бе постигната стандартизация в работата на рентгеновите лаборанти. Постигнато бе тясно сътрудничество между медицинския физик, рентгеновите лаборанти, рентгенолозите и сервизните инженери.

4.3 Проучване на практиката и дозите на пациентите при КТ

4.3.1 Обзор на практиката при КТ изследвания на деца в България

Проучването на практиката и дозите при КТ изследвания на деца бе проведено в периода 2009-2011 година и бе част от международно проучване

на МААЕ с участието на 146 КТ уредби, инсталирани в 126 болници на територията на 40 държави от Азия, Европа, Африка, Латинска Америка.

В дисертацията са представени резултатите от проучването в България, в което се включиха 12 от общо 196 инсталирани до тогава КТ уредби, включващи две 64-детекторни, две 16-детекторни и 8 едносрезови уредби, инсталирани в периода 2002 – 2010 година. КТ уредбите се намират в многопрофилни и университетски болници в градовете София, Варна, Русе, Пловдив, Враца, Пазарджик и Попово.

Информация за броя на КТ изследванията на деца бе получена от шест лечебни заведения. Броят за 2009 г. варира от 5 до 995 за уредба, като преобладават изследванията на глава (от 0 до 992), следвани от абдомен (от 0 до 53) и торакс (от 2 до 30). Това представлява средно 5,8 % от общия брой на КТ изследвания, като се мени в широки граници за различните лечебни заведения - от 0,9 % до 26,8 %. Най-голям е броят на изследванията в университетска болница със специализирано неврологично детско отделение. Резултатите потвърждават данните от националната статистика, че около 2,6 % от КТ изследвания са на деца. Това е добра тенденция за по-малко прилагане на този лъченатоварващ метод при децата в сравнение с практиката в други страни, където КТ изследвания на деца достигат до 38 % от общия брой рентгенови изследвания. Проучването на годишния брой КТ изследвания на деца в международното проучване на МААЕ за 95 КТ уредби показва, че средната честота е 7,5 % за 2007 г. и 9,0 %, за 2009 г. За Европа средният годишен брой е 4,6 % за 2007 г. и 4,3 % за 2009 г., докато за Азия тя е два пъти по-висока (9,4 % за 2007 г., 12,2 % за 2009 г.).

4.3.2 Анкети за проучване на практиката на рентгенолозите

В анкетата на МААЕ участваха общо 42 рентгенолози от България. Целта бе да се проучи практиката при избор на диагностичен метод и спазването на правила за назначаване и провеждане на КТ изследвания на деца.

Установено бе, че 80 % от рентгенолозите преди пристъпване към назначено КТ изследване изискват информация за проведени предишни изследвания за пациента, но никой от тях не изисква записите за дозата от тях. Тревожен е фактът, че 20 % от анкетираните не изискват информацията за предишни изследвания, което допринася за увеличаването на броя на необоснованите рентгенови изследвания. Проучването на практиката в другите страни показва, че 69 % от рентгенолозите изискват информацията от предишни изследвания, но при 33 % от анкетираните предишните рентгенови изследвания и информацията за дозата на пациента не са достъпни.

45 % от анкетираните отговарят, че решението дали да се проведе КТ изследване се взема едновременно от рентгенолога и лекуващия лекар, 22 % твърдят, че крайното решение се взема само от тях, а 22 % - от лекуващия лекар. Данните от международното проучване показват, че едновременното решение се взема от 56,7 % от анкетираните, при 37 % - от лекуващия лекар и

едва при 6,4 % - от рентгенолога. Според Международните ОНРЗ, отговорността за обосноваването на изследването с йонизиращо лъчение трябва да се споделя от лекуващия лекар, който познава цялата клинична история на пациента, и рентгенолога, който познава по-добре възможностите на методите за образна диагностика.

Таблица 9. Отговорите на въпросите относно избора на подходящо образно изследване. В тъмно са обозначени образните методи, препоръчвани като избор за дадения клиничен случай, съгласно правилата за добра медицинска практика, разработени от няколко различни организации.

Кое изследване се предпочита да се направи в следните случаи:	графия	КТ	ЕХО	МРТ	Никое
бебе с хидроцефалия	-	7	20	18	-
бебето с вроден тортиколиз	12	3	11	18	-
дете със симптоми за апендицит (или остра болка в коремната област)	5	1	36	-	-
дете със симптоми за плеврален излив	23	2	22	-	-
дете с постоянно главоболие	-	14	1	25	-
дете със съмнение за малфункция на вентрикуло-перитонеалния шънт	1	19	5	19	-
малко дете (< 5 г.) със синусит	23	2	3	9	2

*КТ – компютър-томографско изследване; ЕХО – ехографско (ултразвуково) изследване; МРТ – магнитно-резонансна томография.

Анкетата включи няколко въпроса относно избора на образно изследване при няколко типични клинични въпроси. Отговорите са показани в таблица 9.

Въпрос 1: „Задължително ли се прави КТ на глава при деца с черепно-мозъчна травма?“. 48 % от анкетиранията отговарят положително, 49 % - отрицателно. Практиката в България не се различава значително от тази в останалите държави. Европейските препоръки не препоръчват КТ при пациенти, при които рискът от вътречерепно нараняване е нисък. Съгласно английските препоръки (National Institute for Health and Clinical Excellence), КТ се препоръчва при деца със загуба на съзнание, амнезия, сънливост, три или повече епизода на повръщания, посттравматични гърчове, резултат по-нисък от 15 по скалата на Glasgow Coma при деца под 1 година, при съмнение за отворена черепна травма или притискане на черепната кутия или притисната фонтанела, при всеки признак за фрактура на базата на черепа, фокален неврологичен дефицит, подутина или оток с големина над 5 cm при деца под 1 г., както и при опасен механизъм на нараняване. Съгласно канадското ръководство за добра медицинска практика, при незначителна травма на главата не се налага провеждането на КТ изследване. КТ на глава се препоръчва от Американския колеж по рентгенология (ACR) при съмнение за тежка черепно-мозъчна травма от 9-та степен (най-високата) и фокален неврологичен дефицит, съгласно степенуването, посочено в документа, при деца под 2 години.

Въпрос 2: „Кое изследване се предпочита при бебе с хидроцефалия?“
44 % от рентгенолозите посочват ехографско изследване, 40 % - МРТ и малка част посочват КТ. 55 % от рентгенолозите от останалите държави биха избрали ехографско изследване, 24 % - КТ, 20 % - МРТ и 1 % - конвенционално рентгеново изследване. Предната фонтанела обикновено се вкостява до 18-тия месец след раждането. Ехографското изследване може да се използва при бебета и най-вече когато цел на изследването е определянето на размера на вентрикулите. В случай, че лечебното заведение разполага с МРТ, този вид изследване е за предпочитане пред КТ.

Въпрос 3: ”Кое изследване се предпочита при бебе с вроден тортиколиз?“
41 % избират МРТ, 27 % - конвенционална рентгенография, 25 % - ехография и останалите 7 % посочват КТ. Отговорите се различават от обобщените данни от международното проучване, при което 35,3 % посочват конвенционална рентгенография, 27,1 % ехография, 23,3 % МРТ и 14,3 % КТ. Конвенционално рентгеново изследване не се препоръчва от Европейските препоръки, защото обикновено деформацията се дължи на мускулен спазъм без наличието на сигнификантни промени в костите. При перзиситиращо състояние методът на избор е ехографията, ако тя е отрицателна и единствено след консултация, се преминава към конвенционална рентгенография и КТ.

Въпрос 4: ”Кое изследване се предпочита при дете със симптоми за апендицит (или остра болка в коремната област)?“
86 % отговорят ехографско изследване, 12 % - рентгенография и едва 2 % КТ. Подобна е практиката и в останалите държави. Превесът на ехографията като първи избор за диагностично изследване съответства на препоръките на ACR. КТ следва да се назначи единствено при отрицателен резултат или нееднозначно заключение от ехографското изследване.

Въпрос 5: ”Кое изследване се предпочита при дете със симптоми за плеврален излив?“
49 % посочват рентгенова графия, 47 %, - ехография, а останалите 4 % - КТ. Абсолютно аналогични са получените резултати и от останалите страни-участнички в проучването. В този случай се препоръчва рентгенография на бял дроб в две проекции и само ако е необходима допълнителна информация - ехография или КТ с нискодозов протокол.

Въпрос 6: ”Кое изследване се предпочита при дете с постоянно главоболие?“
63 % отговорят МРТ, 35 % – КТ и само 2 % – ехография. Практиката у нас не се различава от установената в останалите държави. МРТ и КТ се препоръчват като алтернативни методи, с предпочитание към МРТ. Не се прилага МРТ и КТ, ако главоболието при децата не е съпътствано от неврологични признаци и симптоми.

Въпрос 7: ”Кое изследване се предпочита при дете със съмнение за малфункция на вентрикуло-перитонеалния шънт?“
Равен брой от лекарите – по 43 %, посочват КТ и МРТ, 12 % - ехография и 2 % - конвенционално рентгеново изследване. Обобщените резултати по проекта показват голям превес на КТ (63 %) пред МРТ (19 %), докато при останалите два метода

разпределението е 11 % за ехография и 6 % за рентгенография. Настоящата препоръка е за използване при възможност на ехография, или МРТ при по-големи деца. КТ се използва единствено ако лечебното заведение не разполага с МРТ, като се използва по-малка дължина на скениране, за да се обхванат единствено латералните вентрикули, или специални „ниско-дозови” протоколи с по-голям шум на образа, за да се изобразят размерите на вентрикулите и местоположението на върха на катетъра. При рентгенография на глава трябва да се изобрази цялата клапна система.

Въпрос 8: ”Кое изследване се предпочита при малко дете (< 5 г.) със синусит?”. 59 % посочват рентгенография, 23 % - МРТ, 8 % - ехография, 5 % - КТ и 5 % отговарят, че не е нужно образно изследване, освен ако не се налага хирургична намеса. 72 % от участниците в проучването на МААЕ биха избрали конвенционална рентгенография и 18 % КТ. Само трима рентгенолога от Европа и двама от Азия са отговорили, че при тази клинична индикация не биха провели никакво образно изследване. Според международните препоръки, при симптоми за синусит при деца под 5 годишна възраст не се препоръчва образно изследване, тъй като синусите на децата в тази възраст не са добре развити. Образно изследване се препоръчва единствено при пациенти с отслабена имунна система.

Установяват се големи вариации в отговорите, показващи липсата на стандартизираност в практиката, поради отсъствието в България на национални правила за добра медицинска практика. Писмени указания за избор на образно изследване, според отговорите на анкетираните, липсват в 100 % от лечебните заведения у нас. Такива указания липсват и в други страни, като само 50 % от анкетираните рентгенолози в международното проучване отговарят, че в отделението има налични.

Проведената анкета няма представителен характер, но тя илюстрира липсата на стандартна практика. За стандартизиране на избора на диагностични методи, е необходимо разработването и прилагането на национални правила за добра медицинска практика. Наличието на такива правила не изключва правото на рентгенолога да вземе субективно решение във всеки конкретен случай в зависимост от комплексната клинична картина.

4.3.3 Анкета за рентгеновите лаборанти относно практиката при КТ изследвания на деца

В анкетата на МААЕ за проучване на практиката на рентгеновите лаборанти участваха 12 рентгенови лаборанти от различни лечебни заведения в България.

Анализът на отговорите на анкетираните рентгенови лаборанти даде следната картина за практиката:

1. Топограмата (скенограмата) при деца при 62 % от КТ уредбите се прави в АР проекция, при 9 % в латерална, при 9 % в РА, а при 9 % се правят две

топограми, в AP и латерална проекция (според изискванията на фирмата производител за модулирането на анодния ток).

2. КТ уредбите разполагат с автоматична модулация на анодния ток (АЕС) и тази опция се използва при КТ изследвания на деца, според 50 % от отговорите. Според 17 % уредбите не разполагат с функция за АЕС. Прави впечатление, че 33 % от анкетираните не са запознати с възможностите на уредбите и не знаят дали се използва модулация на анодния ток.

3. В 65 % от отговорите се твърди, че при деца с травма на главата се използва спирален, а при останалите - аксиален. Използването на спирален режим води до по-голямо лъчево натоварване на пациента, тъй като при него, за да се получат необходимите за реконструкцията на образа данни, се прави по половин оборот допълнително завъртане на тръбата в началото и в края на скенираната област. Затова се препоръчва, ако не е необходимо тримерно реконструиране на образа, да се използва аксиален режим на скениране.

4. В 17 % от кабинетите не се използва наклон на гентритото при КТ изследване на глава, въпреки че уредбата има тази възможност. Останалите 83 % използват наклон на гентритото спрямо орбито-меаталната линия, за да се избегне прякото облъчване на очната леща.

5. 83 % от рентгеновите лаборанти са отговорили, че разполагат с протоколи, които са адаптирани за деца, но само при 67 % има детайлизирани протоколи за различни клинични индикации. В много от случаите рутинните протоколи не са добре оптимизирани за деца.

6. Според 56 % от отговорите, при над 50 % от изследваните деца под 5 годишна възраст се използва седирание и според едва 6 % децата никога не се седират. Когато се налага присъствието на придружител в процедурното помещение, винаги използва защитна оловно-гумена престилка и в 83 % от случаите това е родител, а в останалите и лице от медицинския персонал.

7. Анализът показва, че наличните в процедурното помещение средства за обездвижване не се използват достатъчно. Използването на подходящи имобилизационни средства при некооперативните пациенти елиминира необходимостта от седирание и присъствие на родител или лице от медицинския персонал в процедурното помещение.

8. Когато е възможно, се използват защитни оловно-гумени престилки за пациента. У нас не са известни защитните покрития от бисмут. Показано е, че бисмутовите защити намаляват дозата на млечната жлеза при КТ на торакс до 30 %, а при КТ на глава дозата на очите намалява с 20-40 %. При правилно позициониране на защитното покритие, създаваните от него артефакти не влошават информативността на образа.

9. Само в 33 % от КТ кабинетите се пазят записи на получените от пациентите дози. Записи на магнитен носител на изследвания от предишни години се пазят само при по-новите СТ уредби, при които има възможност за архивиране на информацията.

10. Само 30 % от анкетираните са посочили, че в лечебното заведение има медицински физик, който участва в оптимизацията на облъчването. В повечето случаи медицинският физик участва в контрола на качеството на рентгеновите уредби, определянето на типичните дози и като консултант по радиационна защита. Единици са медицинските физици, които работят в екип с рентгеновите лаборанти и рентгенолозите по оптимизация на протоколите за изследванията.

4.3.4 Типични експонационни параметри и дозни индекси

При 10 от включените в проучването 12 КТ уредби (83 %) има налични рутинни протоколи за деца. При 8 (67 %) се използват протоколи не само според анатомичната област на интерес, но и специфични за клиничния въпрос, на който се отговаря с изследването. При 4 (33 %) от уредбите няма разработени протоколи за КТ на глава при деца под 1 г. и между 4 и 9 г. Адаптирани протоколи за изследване на глава липсват при 2 (17 %) уредби за възрастта 1-4 г. и в 42 % за възрастта 10-15 г. При КТ на торакс липсват адаптирани протоколи според възрастта на пациента при 4 (33 %) от КТ уредбите за < 1 г. и 1-4 г., 6 (50 %) за 5-9 г., 5 (42 %) за 10-15 г., както и при една от уредбите за изследване на възрастни пациенти. При протоколите за КТ на абдомен протоколи не са разработени при 3 (25 %) от уредбите за < 1 г., 4 (33 %) за деца от 1 до 4 години, 6 (50 %) за 5-9 г., 5 (42 %) за 10-15 г. и при една от уредбите за възрастни. При липса на протокол за съответната възрастова група в 100 % от случаите се използват протоколите за възрастни пациенти.

Информация за типичните експонационни параметри, заложили в рутинните протоколи, използвани за КТ изследванията на деца, и съответните дозни индекси бе получена от пет (42 %) КТ уредби.

За КТ на глава аксиалният режим на скениране се използва в 50-62 % от протоколите за деца под 10 г., в 25 % за >10 г. и в 100 % за изследване на възрастни. За КТ на торакс аксиален режим на скениране се използва само при 20 % от протоколите за изследване на деца под една година и 22 % от протоколите за възрастни. За КТ на абдомен при 13 % от уредбите се използва аксиален режим на скениране за деца под 1 г. и при 22 % от тези за възрастни. При всички останали протоколи и възрастови групи се използва само спирален режим на скениране.

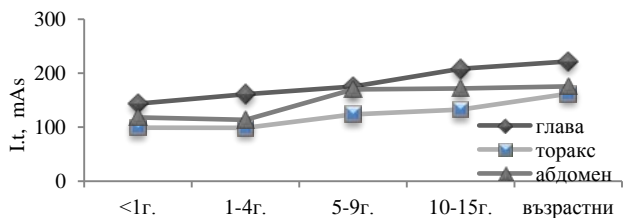
Причината за използването само на аксиален режим при 2 уредби е във вида и възрастта им, инсталирани съответно през 1994 и 2002 г. Тези уредби имат ограничени технически възможности, непозволяващи използването на спирален режим на скениране.

Използваните анодни напрежения при КТ изследвания на деца и възрастни варират в широк диапазон – от 80 до 140 kV. Най-често използваното анодно напрежение е 120 kV. При деца под 1 година 120 kV се използват при 50 % от рутинните протоколи за глава, 33 % - за торакс и 42 %

- за абдомен. Наблюдава се тенденция към нарастване на честотата за използване на 120 kV с увеличаването на възрастта на пациентите, достигайки 58 % при изследването на възрастни пациенти. При 17 % от протоколите за изследване на деца се използва анодно напрежение, по-високо от 120 kV. При КТ на торакс или абдомен, напрежения, по-ниски от 120 kV, се използват в 17 % от наличните протоколите за деца под 1 г., 25 % - за 1-4 г., 17 % за 5-9 г. и само при 8 % от протоколите за КТ на торакс на възрастни. Най-ниското анодно напрежение от 80 kV се използва само при 8 % от протоколите за торакс и абдомен на деца под 1 година и 17 % при (1-4 г.).

На фиг. 4 е представена зависимостта на използваните в рутинните протоколи стойности на количеството електричество от възрастта на пациента. Средните стойности варират между 144 mAs и 222 mAs за КТ на глава, 99 mAs и 162 mAs за КТ на торакс и 114 mAs и 176 mAs за КТ на абдомен. При трите вида изследвания се наблюдава увеличаване на използваното количество електричество с възрастта на пациентите. Това е положителна тенденция, показваща, че при по-голямата част от КТ уредбите използваният аноден ток е адаптиран към телесните размери на пациента, въпреки големите вариации в отделните възрастови групи. Стойностите на количеството електричество за различните КТ уредби варират от 10 mAs до 400 mAs, в зависимост от изследваната анатомична област, размерите и възрастта на пациента. При КТ на глава на деца под десет годишна възраст количеството електричество се мени в широки граници (75- 300 mAs), достигайки твърде високи стойности за тази възрастова група. Подобен е изводът и за другите два вида КТ изследвания, като при торакс вариациите са от 68 до 150 mAs, а при абдомен – от 50 до 175 mAs.

Седем от участващите 12 уредби (57 %) разполагат с АЕС.



Фиг. 4. Средни стойности за количеството електричество, получените от рутинните протоколи за глава, торакс и абдомен, в зависимост от възрастта на пациента.

Анализът на резултатите показва използването на твърде дълго време на ротация при рутинните протоколи за деца. Най-често използваното време на ротация при КТ на глава е 1 s (при 17-25 % от протоколите в зависимост от възрастовата група), следвано от 0,35-0,75 s (при 17-25 %) и 1,5 s (при 8-17 %). При КТ на торакс най-често използваното време на ротация е 0,35-

0,5 s (при 25 % от протоколите за деца под 10 г., а при по-големите деца при 17 %). При 8 % от протоколите за абдомен и торакс на децата на възраст между 1 и 15 г. се използва време на ротация в интервала 0,6-0,75 s. Между 8 % и 17 % от протоколите за КТ на торакс и абдомен на деца се използват дълги времена на ротация от порядъка на 1 s. При КТ на абдомен най-често използваното време на ротация за деца под 5 г. е в интервала 0,35-0,5 s (33 % от децата под 1 г., 25 % за (1-4 г.)).

Изполваната стъпка при различните изследвания и възрасти е в интервала 0,66-1,375. Стъпка, по-малка или равна на 1 се използва при 33 – 67 % от протоколите за глава на деца и при 83 % от протоколите за възрастни пациенти. Стъпка, по-малка или равна на 1 е посочена в 25 - 42 % от протоколите за КТ на торакс и абдомен при деца, а при възрастни пациенти - в 83 % от протоколите за КТ на торакс и 75 % за КТ на абдомен. Стъпка, по-голяма от 1, се използва само при една от КТ уредбите при протоколите за изследване на абдомен и торакс за деца под 5 г. и абдомен на възрастни.

Седем от участващите 12 уредби (58 %) разполагат с индикация за дозните индекси C или P_{KL} на конзолата на работния пост. Преди началото на проучването, проверка чрез допълнителни измервания за точността на дозовия дисплей не е правена.

В таблица 10 са представени данните за C_{vol} от рутинните протоколи, като за две от уредбите стойността е изчислена от C_w и големината на стъпката.

Използването на протокол за възрастен пациент при КТ изследване на глава в болници II, VIII, IX и XII води до между 2 и 4 пъти по-високи стойности на C спрямо това при рутинен протокол за деца. При уредба V използването на рутинните протоколи за торакс и абдомен при деца водят до 2 пъти по-високи стойности на C_{vol} спрямо тези при възрастни пациенти. За една и съща възрастова група стойността на C_{vol} се различава от 4 до 13 пъти за различните уредби.

Таблица 10. Данни за типичните стойности на обемния компютър-томографски индекс на дозата (C_{vol}) от рутинните протоколи за възрастни и деца от четирите възрастови групи.

КТ	ВЪЗРАСТНИ: C_{vol} (mGy)			ДЕЦА: C_{vol} (mGy)											
				<1 г.			1-4 г.			5-9 г.			10-15 г.		
	Г	Т	А	Г	Т	А	Г	Т	А	Г	Т	А	Г	Т	А
II	100,7/ 67,1	21,9	21,9	26	10,7	10,7	25,8	10,7	10,7	36,1	7,6	7,6	36,1	11,9	11,9
III	51,9	15,4	5,9	-	-	-	29,7	3,4	3,8	-	-	-	-	-	-
IV	31,1	16,1	31,2	-	-	-	7,8	3,2	3,7	17,7	7,6	12,9	17,7	7,6	12,9
V	100,7/ 67,1	21,9	21,9	-	40,1	40,1	-	40,1	40,1	-	-	-	-	-	-
VIII	75,27/ 66,9	10,5	8,7	22	9,1	11,5	33,8	4,3	4,8	24,7/ 34,3	-	-	-	-	-
IX	73,4	17,6	17,6	27	14	14	27,3	14	14	27,3	14	14	27,3	14	14
XII	118,1/ 35,3	17,8	9,3	-	-	10,8	33,8	-	-	-	-	-	-	-	-

*Г – глава; Т – торакс; А – абдомен.

В таблица 11 са посочени минималната и максимална стойност за C_{vol} , както и стойностите за медианата и 75-тия перцентил по данни от рутинните протоколи за 7 от уредбите. За сравнение, в таблицата са поместени и публикуваните данни за ДРН от Великобритания, Швейцария, Германия и Франция.

Таблица 11. Характеристики на разпределението на C_{vol} и достъпни от литературните данни за ДРН.

Величина		глава					торакас					абдомен				
		<1	1-4	5-9	10-15	>15	<1	1-4	6	10-15	>15	<1	1-4	5-9	10-15	>15
C_{vol} , mGy	MIN	22	7,8	18	18	31	9	3	8	8	11	11	4	8	12	6
	MAX	27	34	36	36	118	40	40	14	14	22	40	40	14	14	31
	MED	26	29	27	27	67	12	8	8	12	18	12	8	13	13	18
	75 %	27	33	34	32	75	21	13	11	13	20	14	13	13	13	22
ДРН, C_{vol} , mGy	Англия ¹	30	45	50	-	65	12	13	20	-	12	20	20	30	-	14
	Швейцария ²	20	30	40	60	-	5	8	10	12	-	7	9	13	16	-
	Германия ³	33	40	50	60	-	2	3	4	7	-	3	4	7	10	-
	Франция ⁴	30	40	50	-	-	3	4	6	-	-	4	5	7	-	-

¹Публикуваните от Shrimpton и сътр. ДРН са за $CTDI_{vol,16}$ за всички изследвания на деца на възраст <1 – 10 г.; ²Публикуваните от Verdun и сътр. ДРН са за $CTDI_{vol}$ изписан на дисплея на КТ; ³, ⁴Публикуваните от Galanski и сътр. и Brisse и сътр. ДРН са за $CTDI_{vol,16}$ при изследване на глава, и $CTDI_{vol,32}$ при изследване на торакас и абдомен, за всяка от възрастовите групи.

Не се наблюдава очакваното увеличение на медианата за C_{vol} с възрастта на пациента. Това означава, че експонационните параметри не са съобразени с възрастта, а при част от тях се използват протоколите за възрастни пациенти. Отношението на максималната към минималната стойност C_{vol} е най-малко (1,3) за КТ на глава при деца под 1 г. и най-голямо (13) за КТ на торакас за групата (1-4 г.).

В много от случаите наличните протоколи за деца не са адекватно адаптирани, което сочи към необходимост от промяна в практиката и оптимизиране на рутинните протоколи. Използването при деца на протокола с експонационни данни за възрастни води от 2 до 5 пъти по-висока доза, в зависимост от анатомичната област (таблица 10). Намаляване на дозата на пациента може да се постигне с използването на по-ниски стойности за анодното напрежение, анодния ток и времето на ротация или чрез увеличаване на стъпката на скениране.

Много изследователи и специалисти в педиатричната образна диагностика толерират използването на образи с по-високо ниво на шум при определени клинични индикации. Това от своя страна налага използването на протоколи, които да са адаптирани не само съобразно физическите размери и възраст на пациента, но и според клиничните показания и диагнозата.

4.3.5 Ретроспективно и проспективно проучване на дозите на пациентите при педиатрични КТ изследвания

Компютърната томография на глава (главен мозък) е най-често провежданото КТ изследване на деца в България и затова проучването бе фокусирано основно върху него. Бяха проучени изследванията на 147 деца на възраст от 0 до 15 години, проведени с три КТ уредби. Бяха регистрирани данни и за други КТ изследвания: КТ, но поради малкия им брой те не са включени в анализа. Пациентите бяха групирани за анализа на резултатите в определените по-рано пет възрастови групи.

Поради малкия брой провеждани КТ изследвания на деца и липсата на архивирани записи от предишни години, информация за конкретни пациенти бе събрана само от три КТ уредби. За първата бяха проследени КТ на глава за 19 възрастни пациенти и 85 деца; за втората – за 19 възрастни и 19 деца проспективно. и на по-късен етап ретроспективно за още 17 деца. В третото отделение данните бяха събрани ретроспективно. Малката компютърна памет на уредбите и честото изтриване на записите, за да се осигури памет за реконструкция и обработване на получените образи, възпрепятства събирането на по-голям обем данни. За най-малката по възраст група бяха регистрирани данни за едва 5 пациента само в едно от отделенията.

За всяка възрастова група и за всяка уредба бяха пресметнати средноаритметичната (AV), минималната (MIN) и максималната стойности (MAX) за C_{vol} , P_{KL} и E . Резултатите са представени в таблица 12.

Таблица 12. Резултати за C_{vol} , P_{KL} и E при КТ на глава на пациенти в три лечебни заведения за четири възрастови групи.

Уредба	Възраст, години	C_{vol} , mGy			P_{KL} , mGy.cm			E , mSv		
		AV	MIN	MAX	AV	MIN	MAX	AV	MIN	MAX
I	0-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
II		25,8	-	-	312	260	376	3,4	2,9	4,1
III		33,7	19,3	60,4	382	217	797	4,2	2,4	8,8
I	1-5	27,3	-	-	310	259	355	2,1	1,7	2,4
II		25,8	-	-	323	260	376	2,2	1,7	2,5
III		38,8	37,1	41,1	606	466	858	4,1	3,1	5,7
I	5-10	27,3	-	-	322	217	355	1,3	1,1	1,4
II		36,1	-	-	513	473	527	2,1	1,9	2,1
III		44,4	32,0	60,6	569	217	928	2,3	0,9	3,7
I	10-15	27,4	27,3	31,8	309	286	341	0,9	0,6	1,1
II		54,1	36,1	72,0	843	527	1159	2,7	1,7	3,7
III		47,8	31,5	69,8	652	314	999	2,1	1,0	3,2

Средноаритметичните стойности за различните възрастови групи варират в широки граници: (25,8 - 54,1 mGy) за C_{vol} ; (309 - 843 mGy.cm) за P_{KL} и (0,9 - 4,2 mSv) за E . Между различните уредби при пациентите от една и съща възрастова група бяха установени значими вариации в средноаритметичните

стойности – най-големи (над 3 пъти) – в групата под 1 г. възраст. Установиха се разлики до 2,8 пъти в средната стойност на P_{KL} между различните възрастови групи за конкретна КТ уредба. Отношението на максималната към минималната стойности за P_{KL} за различните възрастови групи е:

- Уредба I: 1,4 при (1-4 г.), 1,6 (5-9 г.) и 1,2 (10-15 г.);
- Уредба II: 1,5 при (1-12 м.), 1,5 (1-4 г.), 1,1 (5-9 г.) и 2,2 (10-15 г.);
- Уредба III: 3,7 при (1-12 м.), 1,8 (1-4 г.), 4,3 (5-9 г.) и 3,2 (10-15 г.).

В таблица 13 и таблица 14 са показани резултатите за C_{vol} и P_{KL} с трите КТ уредби. За сравнение са показани и съответните ДРН по възрастови групи от публикувани проучвания в други страни.

Таблица 13. Средноаритметичните стойности за C_{vol} за КТ на глава. За сравнение са посочени съответните ДРН от други страни.

Възрастова група:		< 1 г.	1-5 г.	5-10 г.	10-15 г.
При проучването	Уредба I	-	27,3	27,3	27,4
	Уредба II	25,8	25,8	36,1	54,1
	Уредба III	33,7	38,8	44,4	47,8
ДРН в C_{vol} (mGy)	Англия ¹	30	45	50	65
	Швейцария ²	20	30	40	60
	Германия ³	33	40	50	60
	Франция ⁴	30	40	50	-

¹ Публикуваните от Shrimpton и сътр.. са за ДРН са $C_{vol,16}$ за всички изследвания на деца на възраст (1 – 10 г.); ² Публикуваните от Verdun и сътр. ДРН са за C_{vol} изписан на дисплея на КТ;

^{3,4} Публикуваните от Galanski и сътр. и Brisse и сътр. ДРН са за $C_{vol,16}$ при изследване на глава и $C_{vol,32}$ при изследване на торака и абдомен за всяка от възрастовите групи;

Таблица 14. Средноаритметичните стойности за P_{KL} за КТ на глава. За сравнение са посочени съответните ДРН от други страни.

Възрастова група:		< 1 г.	1-5 г.	5-10 г.	10-15 г.
При проучването	Уредба I	-	310	322	309
	Уредба II	312	323	513	843
	Уредба III	382	606	569	652
ДРН в P_{KL} (mGy.cm)	Англия ¹	270	470	620	930
	Швейцария ²	270	420	560	1000
	Германия ³	390	520	710	920
	Франция ⁴	420	600	900	-

¹ ДРН, публикувани от Shrimpton и сътр.; ² ДРН, публикувани от Verdun и сътр.; ³ ДРН, публикувани от Galanski и сътр.; ⁴ ДРН, публикувани от Brisse и сътр.

Рутинните протоколи за деца са използвани при 94 % от пациентите с уредба I и при 93 % с уредба II. За КТ уредба III наличните рутинни протоколи се използват само при 3 % от пациентите, като експонационните параметри се променят субективно за всеки пациент. Тази практика се отразява и на получените от пациентите дози, като те варират в широки граници, от 1,8 до 4,3 пъти, при различните възрастови групи. Най-високи стойности за всяка от дозовите величини се получава при уредба III, при която не се използват рутинните протоколи, а най-ниски - при уредба I.

Получените стойности за C_{vol} и P_{KL} при КТ уредба III за деца под 1 годишна възраст са по-високи от тези от подобни проучвания в други страни.

При КТ уредба II, изследването на глава при едно от децата на възраст 1 г. бе проведено с използване на три фази на скениране. Получената от това изследване стойност за величината P_{KL} е 781 mGy.cm, което е почти 2,4 пъти повече от средната стойност за децата-пациенти на възраст (1-4 г.), изследвани с тази КТ уредба (таблица 14). В повечето случаи една фаза на скениране е достатъчно за диагностициране на даден проблем и използването на повече от една фаза не води до допълнителна информация, а само до по-голяма доза на пациента.

Седиране се прилага при 19 % от пациентите при уредба I, като се седира 52 % от децата под 5 г., 4 % от децата под 10 г. и 3 % от децата над 10 г. При уредба II 91 % от пациентите се седира - 100 % от децата под 10 г. и 75 % при (10-15 г.). Обяснението е в спецификата на лечебното заведение и контингента от тежко болни пациенти, при които е невъзможно обездвижване с помощта на наличните в кабинета ленти и колани. Данни за седиране на пациентите не бяха предоставени за уредба III.

При уредба I за 52 % от децата, подложени на КТ изследване на глава, се използват индивидуални лъчезащитни средства, като защита за щитовидната жлеза и на тялото на пациента. В процеса на проспективното събиране на данни и присъствието на медицински физик в отделението, се установи тенденция за нарастване на честотата за употребата им, при условие, че поставянето им не би довело до компрометиране на качеството на образа. При уредба II никога не се използват индивидуални лъчезащитни средства. Данни за използване на индивидуални лъчезащитни средства не бяха предоставени за уредба III.

Оптимизирането на протоколите изисква адекватен избор на стойностите на експонационните параметри, в зависимост от телесната маса и размера на тялото на пациентите и съобразен с техническите възможности на рентгеновата уредба, вида и мощността на високоволтовия генератор и рентгеновата тръба, както и реконструиращия софтуер. Намаляване на дозата се постига чрез намаляване на анодното напрежение и анодния ток и чрез увеличаване на стъпката.

Допълнително намаляването на облъчването може да се постигне чрез:

- РА-, вместо АР-проекция, при топограмите, ако е технически осъществимо;
- ограничаване на топограмата и областта на скениране само до областта на интерес;
- използване на аксиален режим при изследване на глава;
- ако уредбата позволява, използване на наклон на гентритото при КТ изследването на глава, за да се ограничи облъчването на очите;
- използване по възможност на еднофазно изследване, без контрастиране.

Веднъж разработени, адаптирани и оптимизирани, протоколите за деца трябва и реално да бъдат използвани.

4.3.6 Оптимизиране на КТ изследвания на глава при деца

Оптимизирането на КТ изследванията при деца бе осъществено в три от лечебните заведения (уредби II, V и IX).

Оптималният избор на експонационни параметри бе осъществен с помощта на инструкцията за разработване на КТ протоколи за деца на американската кампания Image Gently, адаптирана към практиката у нас. Инструкцията бе използвана както при създаването на нови адаптирани протоколи, така и за верифициране на вече съществуващите и използваните протоколи.

Първата стъпка целеше да се намери протокола за изследване на абдомен и на глава на възрастен пациент, осигуряващ дози под националните ДРН. Веднъж оптимизирани, експонационните параметри от този протокол за възрастен бяха приети за базови, а с помощта на инструкцията бе определена степента на намаляване, според възрастта или дебелината на тялото на детето в РА-проекция.

Установи се, че избраните нови параметри за трите КТ уредби водят до доза, която е по-ниска от оценената за възрастен пациент при същото изследване, с изключение на рутинните протоколи за торакс и абдомен при уредба V (таблица 10).

Проведеното фантомно измерване за проверка на точността на индикацията на C на дисплея на КТ уредбата установи, че реалните стойности са с 50 % по-ниски от зададените в рутинните протоколи. Тази КТ уредба не разполага с индикация за P_{KL} , затова бяха изготвени таблици за определяне на P_{KL} в зависимост от броя на направените срезове при използване на различни протоколи. Определените дозови индекси се регистрират в медицинския журнал и документацията на пациента.

Оптимизацията на протоколите при деца изисква съдействието на рентгеновите лаборанти и на рентгенолозите, затова бе проведено обучение за разясняване на ефекта от намаляването на дозата върху шума в КТ образа. Повишеният шум намалява предимно визуализацията на нискоконтрастни обекти, отколкото на такива с висок контраст, затова възможността за намаляване на дозата зависи от клиничната цел и е ограничена при търсене на нискоконтрастни обекти. Например, за разграничаването на мекотъкани обекти (нисък контраст), шумът в образа трябва да е по-малък, отколкото при визуализирането на костите структури или на паренхима на белия дроб (висок контраст). Прилагането на настоящия алгоритъм трябва стриктно да следва осигуряването на задоволително клинично качество на образа и приемливо ниво на шума. При висококонтрастни изследвания може да се

постигне дори по-голямо намаляване на експонационните параметри, а оттам и на дозата на пациента.

Със съдействието на завеждащия на отделението при уредба IX, в периода на оптимизиране на протоколите бе ограничено използването на протокола за деца под 1-годишна възраст, при който се получаваха дози над ДРН, както и на протокола за гръбначен стълб, за които липсваха протоколи. Прилагането им бе ограничено само по спешни индикации и след обсъждане с ръководителя на рентгеновото отделение.

Бяха утвърдени допълнителни писмени указания относно техническите и лъчезащитни аспекти, свързани с осъществяването на изследванията, достъпни на видно място в КТ кабинета, част от които гласят:

„КТ изследвания на главен мозък при деца да се извършват с наклон на срезовете над горния ръб на орбитите, след покриване на тялото със защитна оловна престилка и покриване на шията с предпазна оловна яка.“

„КТ на глава да се прави с наклон по орбито-меаталната линия. КТ на лумбални (торакални, шийни) прешлени – без наклон.“

Отделението при КТ уредба IX е първото в България, снабдено със специални индивидуални лъчезащитни средства от бисмут за защита на очите на пациента.

При КТ уредба II, с помощта на сервизните инженери и рентгенолозите в отделението, бяха разработени нискодозови педиатрични протоколи за изследване на торакс и абдомен, използващи анодно напрежение 80 kV. Поради малкия брой пациенти, на които се провежда подобно изследване и настъпилата сравнително бързо смяна на рентгеновата тръба, събирането на данни за проучването при прилагането на нискодозовите протоколи бе трудно осъществимо. Използването на разработените нискодозови протоколи за деца бе възпрепятствано след смяната на рентгеновата тръба, поради технически проблем с калибрирането при 80 kV. Като част от процеса на оптимизация на практиката в отделението бяха предприети допълнителни мерки за ограничаване на облъчването на пациентите:

- при КТ на абдомен топограмата се ограничава до нивото на диафрагмата;
- при КТ на абдомен и торакс се използва АЕС;
- при аксиално скениране на глава се използва наклон на гентритото за ограничаване на облъчването на очите;
- при КТ на глава се използва аксиален режим на скениране, т.к. в болницата лежачоболните деца, подлежащи на КТ изследване, са в изключително тежко здравословно състояние и в случаите, в които те не са в състояние на кома се седират;
- за обездвижване на пациента допълнително се използват ленти, колани и опори за фиксиране на главата и тялото;
- по правило на родителите не се разрешава да присъстват в процедурното помещение;

- при възможност се използват лъчезащитни средства за пациента, в зависимост от особеностите на КТ изследване и здравословното състояние на пациента (по време на проспективното проучване е осъществено за един единствен пациент).

Единствено в случаите на неуспешно седиране на пациента, лице от медицинския персонал, екипиран с лъчезащитна престилка и яка, оказва съдействие в процедурното помещение и се използва спирален режим на скениране при КТ на глава. Пациентите, при които се налага присъствието на придружител (лице от медицинския персонал или родител) по време на изследването, са под 2 % от всички деца под 15 годишна възраст.

С помощта на специалистите, поддържащи болничната информационна система (БИС), в досието на пациента, бе създадено специално поле за въвеждане на получената от пациента доза при КТ изследване. Бе въведено задължително регистриране на получената доза в БИС (при документацията за пациента) и в медицинския журнал чрез записването на стойността за P_{KL} .

При КТ уредба V се установи, че липсват рутинни протоколи за изследване на глава при деца. За абдомен и торакс са налични, въпреки че използването им води до 2 пъти по-високи стойности за C_{vol} спрямо получаваните от възрастен пациент (таблица 10). По инициатива на персонала работещ на уредбата следва самостоятелно разработване от тяхна страна на протоколи за деца, без съдействието и участието на медицински физик. Използването на разработените педиатрични протоколи за КТ на глава води до незадоволително качество на образа с висок шум и нисък контраст. Направеното изследване установи стойност за $C_{vol} = 17.5$ mGy, която е много по-ниска от типичните за това изследване. С участието на медицински физик, инженер и рентгенолог се пристъпи към оптимизиране на вече създадения протокол, чрез промяна на параметрите до получаването на задоволително качество на образа и $C_{vol} = 25,8$ mGy. Този пример показва, че оптимизацията не винаги означава намаляване на дозата. Нейната задача е постигането на образи с диагностично качество при минималната възможна доза на пациентите.

За целите на процеса на обосноваване и оптимизация на педиатричните КТ изследвания и като част от участието ни в информационната кампания Image Gently, бе адаптирана на български език в съответствие с практиката у нас информационна брошура за родителите. Брошурата е разпространена чрез официалната интернет страница на Националния център по радиобиология и радиационна защита, в специализирани курсове за работа в среда на йонизиращи лъчения и лекции насочени към различни специалисти свързани с дейности с йонизиращи лъчения. Брошурата е отпечатана и разпространена в лечебните заведения и е достъпна за родителите на деца, на които им предстои такъв тип диагностично изследване. В електронен вид се разпространява и в интернет групи на тема отглеждане на детето.

Изводи

Групиране на децата

1. За целите на дозиметрията и сравняване с диагностичните референтни нива се препоръчва групиране на пациентите в пет групи по възраст: (0 - 1 месец); (1 - 12 месеца); (1 - 4 години); (5 - 9 години) и (10 - 15 години).
2. За целите на оптимизацията на торакалните и абдоминалните конвенционални и КТ изследвания са предложени пет групи по възраст и телесна маса: (<1 години), (1 – 4 години), (> 3 години и слаби 5 – 9 години), (слаби 10 – 15 години и по-едри 5 – 9 години) и (едри 10 – 15 години). При изследвания в областта на главата избраните групи са по възраст: (0 – 1 месец); (1 - 12 месеца); (1 - 4 години); (5 - 9 години) и (10 - 15 години), като се допуска обединяването на последните две групи в една, поради слабото изменение на размера на черепа и плътността на костите след 6-годишна възраст.

Конвенционална рентгенография:

3. Установена бе липса на стандартизираност в практиката и прилаганите протоколи за конвенционална рентгенография на деца от една и съща възрастова група, както между лечебните заведения, така и между рентгеновите лаборанти, работещи с една и съща рентгенова уредба.
4. Не се установи корелация между стойностите на експонационните параметри за рентгенография и възрастта или телесната маса на пациента. Липсва корелация между стойностите на K_e и експонационните параметри, поради емпиричния избор на работни данни, несъобразен с телесните размери на пациента.
5. Получените стойности за K_e , P_{KA} , органните и ефективните дози при конвенционална рентгенография на бял дроб при три от рентгеновите уредби са по-високи от тези от други подобни проучвания в други страни.
6. Установените най-чести грешки при конвенционалната рентгенография на бял дроб са:
 - необосновано използване на AP проекция, вместо стандартната PA проекция, при която ефективната доза е с 20-50 % по-ниска;
 - ненужно използване на противодифузионна решетка дори при деца под 5 г.;
 - използване в едно от отделенията на филм-фолийна комбинация с по-нисък от оптималния клас на чувствителност 200;
 - използване на неподходящ размер на преобразувателя и недостатъчно блендиране на полето; в резултат, при изследване на новородени и бебета дозата в гонадите е по-висока 100 пъти, дозата в

дебелото черво – 10 пъти, а ефективната доза – 2 пъти спрямо рентгенография при правилно блендиране;

- използване на по-ниски стойности на анодното напрежение и по-дълго време на експонация от препоръчаните;
- неизползване на оловни защиты за намаляване на облъчването на лъчечувствителните органи;
- неправилна настройка на експоната при две от рентгеновите уредби, водеща до над два пъти по-високи стойности на ефективната доза;
- едновременно използване на трите доминанти на експоната при голяма част от пациентите, а при останалата част – на двете странични доминанти, независимо от възрастта на изследваните деца.

7. Прилагане на алгоритъма за оптимизиране на рентгеновите изследвания на бял дроб на деца доведе до намаляване на K_e , P_{KA} и ефективната доза от 1,5 до над 6 пъти, на средната доза в млечната жлеза до 10 пъти, на дозата в белите дробове между 2 и 5 пъти.

Компютърна томография

8. Проведената анкета с 42 рентгенолози показва липса на стандартизираност в практиката:

- решението за провеждане на КТ изследване се взема едновременно от рентгенолога и лекуващия лекар (45 % от отговорите), само от рентгенолога (22 %); само от лекуващия лекар (22 %); без отговор (11 %);
- писмени указания за избор на образно изследване липсват в 100 % от лечебните заведения;
- 20 % от анкетираните не изискват информация за проведени предишни изследвания за пациента;
- никога не се изисква запис за дозата от предишни рентгенови изследвания.

9. Анализът на практиката на 12 рентгенови лаборанти показва:

- топограмата при деца при 62 % от КТ уредбите се прави в AP проекция, при 9 % в латерална, при 9 % в PA, а при 9 % се правят две топограми;
- 33 % от анкетираните не знаят дали КТ уредбата използва автоматична модулация на анодния ток;
- КТ на глава при деца с травма се прави в спирален режим на скениране в 65 % от случаите, а при останалите – в аксиален режим;
- наклон на гентритото при КТ изследване на глава не се използва в 17 % от кабинетите, въпреки наличието на такава възможност за намаляване облъчването на очната леща;
- наличните средства за обездвижване не се използват достатъчно, водещо до необходимост от седиране на деца под 5 годишна възраст в над

50 % от случаите (56 % от отговорите) или присъствие на родител или лице от медицинския персонал в процедурното помещение;

- не се прилагат защитни покрития от бисмут за защита на млечната жлеза при КТ изследването на торакс и на очите при изследването на глава;
- записи на получените от пациентите дози се пазят само в 33 % от КТ кабинетите;
- единици са медицинските физици, които работят в екип с рентгеновите лаборанти и рентгенолозите по оптимизация на протоколите за изследванията.

10. Анализът на дозите на пациентите и използваните протоколи при 12 КТ уредби показва:

- Адаптирани протоколи за деца са налични при 83 % от КТ уредбите, но само при 67 % те са детайлизирани за различни клинични индикации;
- Рутинните протоколи не са добре оптимизирани за деца, което налага операторът да променя субективно експонационните данни според клиничната индикация и размера и възрастта на пациента;
- Най-често използваното анодно напрежение за всяка от възрастовите групи е 120 kV – използва се при 50 % от рутинните протоколи за глава, при 33 % за торакс и 42 % за абдомен. Анодно напрежение 80 kV се използва само при 8 % от протоколите за торакс и абдомен на деца под 1 година и 17 % при възрастова група 1-4 г.;
- Анодни напрежения под 120 kV се използват само при 17 % от изследваните протоколи за новородени и деца под 1 година и при 25 % за по-големи деца, демонстриращо големия потенциал за оптимизация;
- Налице е положителна тенденция за увеличаване на използваното количество електричество с възрастта на пациентите при КТ на глава, гръден кош и абдомен, но с големи вариации в конкретна възрастова група;
- Наблюдава се недобра практика за използването на твърде дълго време на ротация при рутинните протоколи за деца;
- За една и съща възрастова група стойността на C_{vol} се различава от 4 до 13 пъти за различните уредби;
- Експонационните параметри при изследването на деца не са съобразени с възрастта, водещо до липса на корелация между C_{vol} с възрастта на пациента; при част от уредбите децата се скенират с протокол за възрастен;
- Използването на протокол за възрастен пациент при КТ изследване на глава води до 2 - 4 пъти по-високи стойности на дозния индекс спрямо това при рутинен протокол за деца.

11. Оптимизирането на КТ протоколите включи избор на стойностите на анодното напрежение (kV), анодния ток (mA), и стъпката (pitch), в зависимост от телесната маса и размера на тялото на пациентите. Намаляване на дозата се постигна чрез намаляване на анодното напрежение и анодния ток и чрез увеличаване на стъпката на скениране. Изборът на експонационни параметри бе съобразен с техническите възможности на рентгеновата уредба, вида и мощността на високоволтовия генератор и рентгеновата тръба, както и реконструиращия софтуер.

12. Допълнително намаляването на облъчването на децата се постигна чрез:

- използване при топограмата на РА, вместо AP проекция, когато е технически осъществимо;
- ограничаване на топограмата и областта на скениране само до областта на интерес, напр. при КТ на абдомен топограмата се ограничава до нивото на диафрагмата;
- използване на АЕС при КТ на абдомен и торакас;
- използване на аксиален режим и наклон на гентритото при КТ изследването на глава;
- използване по възможност на еднофазно изследване, без контрастиране;
- обездвижване на пациента с ленти, колани и опори за фиксиране на главата и тялото, довело до необходимост от присъствие на придружител в процедурното помещение при под 2 % от всички деца;
- използване на индивидуални лъчезащитни средства от бисмут за защита на очите.

13. Оптимизацията в едното отделение доведе до увеличаване на C_{vol} при КТ на глава от 17.5 mGy до 25.8 mGy, но в резултат – получаване на задоволително диагностично качество на образа.

14. Стойността на дозните индекси при КТ изследването започна рутинно да се регистрира в досието на пациента и в медицинския журнал чрез записването на стойността за P_{KL} .

15. Прилагането на алгоритъма за оптимизация трябва стриктно да следва осигуряването на задоволително клинично качество на образа, при толериране на най-високото приемливо ниво на шума.

16. Успешната оптимизацията е възможна при работа в екип на рентгенолог, медицински физик и рентгенов лаборант.

Приноси на дисертационния труд

1. Разработена е стандартизирана процедура, формуляри и анкети за проучване на практиката в конвенционалната рентгенография и в компютърната томография при изследвания на деца и с тяхна помощ за първи път в България е проведено систематично проучване при 4 рентгенови уредби за конвенционална рентгенография и 12 КТ уредби. Анкетирани са 42 рентгенолози и 12 рентгенови лаборанти. Направена е оценка на дозите на пациентите и определящите ги експонационни фактори. Разработената методика е приложима за провеждането на следващи проучвания на практиката в страната.
2. Разработената методика и опитът от прилагането ѝ в България са използвани за разработване на етапите и методиката за провеждане на международно проучване при КТ изследвания на деца по проект на Международната агенция за атомна енергия (МААЕ) на тема “Радиационна защита на пациента”, в което участваха 146 КТ уредби, инсталирани в 126 болници на територията на 40 държави от Азия, Европа, Африка, Латинска Америка. Проведен е анализ на резултатите по международния проект, изготвени са препоръки към партньорите за оптимизиране на практиката при КТ изследванията на глава, торакас и абдомен на деца и е проследена тяхната реализация.
3. Предложен е критерий за групиране на децата по групи за целите на дозиметрията, разработването и сравняването с диагностичните референтни нива, както и за оптимизацията на протоколите за провеждане на изследванията.
4. Разработен е алгоритъм за оптимизиране на конвенционалните рентгенови графии на деца и е показана неговата приложимост за оптимизация на рентгенографията на бял дроб в едно рентгеново отделение. Показана е ролята в процеса на оптимизация на рентгенолога, медицинския физик и рентгеновия лаборант и е доказан ефекта от работата в екип за намаляване на дозите при осигуряване на диагностично качество на рентгеновите образи.
5. Разработен е алгоритъм за оптимизиране на практиката при педиатричните КТ изследвания на деца и чрез прилагането му са предложени оптимизирани протоколи за различните възрастови групи при две КТ уредби. За целта е адаптирана и публикувана на български език инструкция за разработване на компютър-томографски протоколи за изследване на деца, използвана в международната кампания Image Gently.

6. Изводите от направените проучвания и разработените алгоритми за оптимизация и резултатите от прилагането им са включени в курсове за следдипломно обучение на рентгенолозите, в курса по осигуряване на качеството за рентгенови лаборанти в два медицински колежа и в курсовете за правоспособност за работа с йонизиращи лъчения в НЦРРЗ.

7. Адаптирана е на български език, публикувана в интернет страниците на Image Gently и НЦРРЗ, отпечатана и разпространена е в страната брошура, информираща родителите за безопасността при използването на йонизиращи лъчения за изследвания на деца.

Публикации във връзка с дисертационния труд

1. **Костова-Лефтерова Д.**, Василева Ж. Проучване на практиката при компютър-томографските изследвания на деца и възможности за намаляване на лъчевото натоварване на пациентите. Рентгенология и радиология, 2010, 49(4), 271-276.
2. **Kostova-Lefterova D.**, D. Taseva, K. Ingilizova, J. Hristova, J. Vassileva. Potential for optimization of paediatric chest X-ray examination. Radiation Protection Dosimetry 2011; 147: 1-2, 168-170.
3. Vassileva J, Rehani M, ..., **Kostova-Lefterova D.** et al. IAEA survey of pediatric CT practice in 40 countries in Asia, Europe, Latin America and Africa: Part 1. Frequency and Appropriateness. Am J Roentgenol AJR May 2012 vol. 198: 51021-1031.

Научни съобщения във връзка с дисертационния труд

1. **D. Kostova-Lefterova**, N. Topalov. Work done and situation in Bulgaria on radiation protection of children. Oral presentation in the IAEA Regional meeting to create a network of medical professionals on Radiation protection of children (RER 9093), Varna, Bulgaria 30th August to 1st Sept. 2010.
2. **D. Kostova-Lefterova**, J. Vassileva, N. Topalov. Potential for reduction of patient doses in pediatric CT examinations. Bulgarian Nuclear Society, International Conference "NUCLEAR POWER FOR THE PEOPLE". Hotel Vigo, Nesebar Sea Resort, Bulgaria, 26 – 29 September 2010, abstract in Book of Abstracts. II place for oral presentation in young generation competition.
3. **D. Kostova-Lefterova**, D. Taseva, K. Ingilizova, J. Hristova, J. Vassileva. Potential for optimization of pediatric chest X-ray examination. International Conference on Radiation Protection in Medicine, Varna, Bulgaria, 1-3 September 2010, abstract in Roentgenologia Radiologia (Рентгенология и радиология), Suppl. '10.
4. **D. Kostova-Lefterova**, J. Vassileva. Survey of practice in pediatric computed tomography. International Conference on Radiation Protection in Medicine, Varna, Bulgaria, 1-3 September 2010, abstract in Roentgenologia Radiologia (Рентгенология и радиология), Suppl. '10.
5. **Д. Костова-Лефтерова.** Рентгеновите изследвания в детската възраст – обосновани и оптимизирани!. Поканен лектор на XII френски-български дни по образна диагностика - Педиатрична образна диагностика. София, 5-6 ноември 2010.
6. **D. Kostova-Lefterova**, Vassileva J., Patient doses from pediatric head CT examination in Bulgaria. European Medical Physics and Engineering Conference, 1-3 September 2011, Dublin, Ireland, EMPEC abstracts, Abstract 206.
7. **Костова-Лефтерова Д.**, Тасева Д., Христова-Попова Ю., Дяков И., Василева. Оптимизиране на рентгеновите изследвания на бял дроб при деца.

XIV конгрес на Българската асоциация по радиология, 29 септември до 2 октомври 2011.

8. Hadjidekov V, **D. Kostova-Lefterova**. Today trends of pediatric pulmonary imaging. First Balkan Symposium on Pediatric Pulmonology, 18-20 October 2012, Sheraton Hotel Sofia, Sofia, Bulgaria, Bulgarian Association Pediatric Pneumology Abstracts,

9. **D. Kostova-Lefterova**, J. Vassileva. Radiation Protection of Children in CT in Bulgaria. Oral presentation in IAEA-RPM 2010 Pre-conference Seminar "Radiation Protection of Children, Embryo and Fetus", Varna, Bulgaria, 1 September 2010, in connection with the International Conference on Radiation Protection in Medicine, Varna, Bulgaria, 1-3 September 2010.

10. **Dessislava Kostova-Lefterova**, Jenia Vassileva, CT practice for children in a hospital in Bulgaria, ECR 2014 as part of the Eurosafe Imaging Campaign, Vienna, Austria, 06-10 March 2014.

11. **D. Kostova-Lefterova**, D. Taseva, J. Hristova-Popova, J. Vassileva, Optimisation of chest X-ray examinations of paediatric patients, RPM 2014, Riviera, Varna, Bulgaria, 29 May - 02 June 2014 (submitted for publication in Radiation Protection Dosimetry special issue).

Справка за откритите цитати на научни публикации

1. Vassileva J, Rehani M, ..., **Kostova-Lefterova D**. et al. IAEA survey of pediatric CT practice in 40 countries in Asia, Europe, Latin America and Africa: Part 1. Frequency and Appropriateness. Am J Roentgenol AJR May 2012 vol. 198: 51021-1031.

Открити общо цитати

1. Akhlaghi P., Miri Hakimabad H. and Rafat Motavalli L. An overview of exposure parameters, dose measurements and strategies for dose reduction in pediatric CT examinations. **Radioprotection**, Volume 49, Issue 01, January 2014, pp 9-15.

2. Korir G.; Wambani J. et al. Frequency and Collective Dose of Medical Procedures in Kenya. **Health Physics**, December 2013. Volume 105, Issue 6, p 522–53.

3. Etard C., Aubert B. et al. Exposure of the French paediatric population to ionising radiation from diagnostic medical procedures in 2010. **Pediatric Radiology**, December 2014, Volume 44, Issue 12, pp 1588-1594.

4. Miller-Clementea R., Pérez-Díaz M et al. Optimización de protocolo en tomografía computerizada pediátrica con control automático de exposición. **Imagen Diagnóstica**, Volume 5, Issue 1, January–June 2014, Pages 10–16.

5. Dobbins J., Frush D et al. Medical Imaging Safety in the Developing World. **Radiology in Global Health**, 2014, pp 41-60.

6. Muhogora W., Ngoye W. et al. Paediatric Doses During Some Common X-Ray Procedures at Selected Referral Hospitals in Tanzania. **Radiat Prot**

Dosimetry, 2015, doi: 10.1093/rpd/ncv021, First published online: March 19, 2015.

7. Stanescu G., Rosca-Fartat G. and Stanescu D. Justification of CT Scans Using Referral Guidelines for Imaging. **Radiat Prot Dosimetry**, 2015, doi: 10.1093/rpd/ncv060, First published online: March 23, 2015.

8. Tahvonen P., Oikarinen H. et al. Justification of CT examinations in young adults and children can be improved by education, guideline implementation and increased MRI capacity. **Br J Radiol.**, 2013, Sep, 86(1029):20130337.

9. Sulieman A. Establishment of Diagnostic Reference Levels in Computed Tomography for Paediatric Patients in Sudan: A Pilot Study. **Radiat Prot Dosimetry**, 2015, doi: 10.1093/rpd/ncv109, First published online: April 1, 2015.

10. Kim J-H., Nuyts J. et al. A rigid motion correction method for helical computed tomography (CT). **Physics in Medicine and Biology**, 2015 Mar 7;60(5):2047-73.

11. Korir G., Wambani J. et al. National Diagnostic Reference Level Initiative for Computed Tomography Examinations in Kenya. **Radiat Prot Dosimetry**, 2015, doi: 10.1093/rpd/ncv020, First published online Mar 19 2015.

2. **Kostova-Lefterova D.**, D. Taseva, K. Ingilizova, J. Hristova, J. Vassileva. Potential for optimization of paediatric chest X-ray examination. *Radiation Protection Dosimetry* 2011; 147: 1-2, 168-170.

Открити общо цитати

1. Fauber TL., Dempsey MC. X-ray field size and patient dosimetry. **Radiol Technol.**, 2013 Nov-Dec, 85(2):155-61.

2. Tschauner S., Marterer R. et al. European Guidelines for AP/PA chest X-rays: routinely satisfiable in a paediatric radiology division?. **Eur Radiol.**, 2015 May 24, Epub ahead of print.

3. Djupman L. Stråldoser vid barnundersökningar med datortomografi, genomlysning och konventionell röntgen: En enkätstudie. Örebro University, School of Health and Medical Sciences, Örebro University, (Swedish), **Independent thesis Basic level** (degree of Bachelor), urn:nbn:se:oru:diva-29346, Sweden. 2013.

Справката е изготвена по информация от базата данни Google Scholar към дата 12.06.2015 г.

Summary

The purpose of this study was to compare the important aspects and to assess the current paediatric radiological practice and patient doses from chest radiography and paediatric CT examinations. Another purpose was to present the algorithm for the optimisation of paediatric X-ray examinations and reduce patient doses at keeping adequate image quality.

The results for chest radiography showed large variations for P_{KA} and K_e . Optimized protocols for different age groups and depending on the patient size were suggested including optimal tube voltage, tube current and exposure time, use of automatic or manual exposure control and use of antiscatter grid. The optimized protocols and radiography technique resulted in decrease in K_e and E in a factor of between 1.5 and over 5 for different age groups. Image quality was assessed to be of sufficient diagnostic quality.

The results for CT showed large variations in dose, up to a factor of 4 within the same age group for a given procedure, and in one of the hospitals the paediatric dose was twice higher than the adult dose. Dedicated scanning protocols for children are available in most of the departments but they are not well optimized and exposure parameters are subjectively modified. The use of adult protocols for scanning of pediatric patient results in higher patient doses. The lack of written referral guidelines for imaging was demonstrated. Recommendations were given how to optimize examinations and to reduce patient doses.