

КОНУСНО-ЛУЧЕВАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ В ДЕТСКОЙ СТОМАТОЛОГИИ:

ОБЗОР СОВРЕМЕННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Частота дентального рентгенологического обследования очень высока по сравнению с иным медицинским облучением, и некоторые пациенты подвергаются многократному обследованию за короткий промежуток времени, особенно в случае зубо-альвеолярной травмы. Некоторые люди считают, что малые дозы радиации безопасны (так называемая теория гормезиса), тем не менее, ионизирующее излучение, безусловно, не считается большинством физиков и местными и международными консультантами на 100% безвредным. Дентальные рентгеновские снимки получают при довольно низком кило-вольтаже, что означает, что риски довольно непредсказуемы [10, 38, 41, 42].

Так называемая, линейная беспороговая (LNT) модель используется для оценки рисков низкоэнергетической ионизирующей радиации, зная, что она будет иногда переоценивать или недооценивать риск. Внутриротовые дентальные рентгенограммы рассматриваются в качестве незначительного риска, а риск развития фатальной опухоли от них значительно ниже, чем один на миллион. Однако так же правда и то, что пол, возраст и индивидуальная восприимчивость к канцерогенезу должны приниматься в расчет. Окончательный вывод состоит в том, что LNT модель предоставляет достаточно надежные оценки риска, чтобы гарантировать, что пациенты будут надлежащим образом защищены от медицинского облучения, которое является или необоснованным или не полностью оптимизированным [38, 41].

Что касается детей, стоматолог должен быть еще более бдительным, чтобы не подвергать любого молодого растущего человека «ненужному» излучению. Экономические цели никогда не должны быть причиной рентгенологического обследования пациентов [1, 14, 43]. Это подводит нас к трем основным принципам радиационной защиты. Во-первых, это «принцип обоснованности», что означает, что рентгенография показана только, если нет никаких других средств получения необходимой информации. Он также говорит, что, если пациент не может справиться с процедурой, рентгенография противопоказана (например, не стоит выполнять панорамные снимки, если ребенок не может стоять на месте достаточно долго). Во-вторых, это «принцип ограничения», который гласит, что врач обязан всегда стремиться к максимально низкой дозе облучения



Фанакин В.А.

к.м.н., доцент кафедры ортопедической стоматологии ГБОУ ВПО ЮУГМУ, член Европейской Академии Педиатрической Стоматологии, г. Челябинск, fanakin@yandex.ru



Бутюгин И.А.

к.м.н., доцент, заведующий кафедрой терапевтической стоматологии ГБОУ ВПО ЮУГМУ, г. Челябинск



Батанова Е.В.

к.м.н., доцент кафедры терапевтической стоматологии ГБОУ ВПО ЮУГМУ, г. Екатеринбург

Резюме

Использование конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ) в детской стоматологии было упомянуто в многочисленных публикациях и отчётах. Однако показания к применению КЛКТ в детской стоматологии до сих пор не были составлены надлежащим образом. С другой стороны, три базовых принципа радиационной защиты (обоснованность, ограниченность и оптимальность) должны быть соблюдены. Обзор текущей литературы использовался с целью оценки показаний и противопоказаний к применению КЛКТ в детской практике. Важнейшим является тот факт, что КЛКТ генерирует большую эффективную дозу в ткани, чем традиционные дентальные рентгенографические экспозиции. Эффективная радиационная доза не должна быть недооценённой, особенно у детей, которые гораздо более восприимчивы к стохастическим биологическим эффектам. Щитовидная железа, в частности, должна быть защищена от прямого излучения насколько это возможно. Как и любая другая рентгенологическая техника, КЛКТ не должна являться рутинной процедурой в клинической практике. КЛКТ, конечно, занимает определённое место в детской стоматологии, но её использование должно быть обосновано в каждом конкретном случае.

Ключевые слова: конусно-лучевая компьютерная томография, детская стоматология, диагностика, безопасность.

CONE-BEAM COMPUTED TOMOGRAPHY IN PEDIATRIC DENTISTRY: A REVIEW OF CURRENT LITERATURE

Fanakin V.A., Butyugin I.A., Batanova E.V.

The summary

The use of cone beam computed tomography (CBCT) in paediatric dentistry has been mentioned in numerous publications and case reports. The indications for the use of CBCT in paediatric dentistry, however, have not yet been properly addressed. On the other hand, the three basic principles of radiation protection (justification, limitation and optimisation) should suffice. A review of the current literature was used to assess the indications and contra-indications for the use of CBCT in paediatric dentistry. Paramount is the fact that CBCT generates a higher effective dose to the tissues than traditional dental radiographic exposures do. The effective radiation dose should not be underestimated, especially not in children, who are much more susceptible to stochastic biological effects. The thyroid gland in particular should be kept out of the primary beam as much as possible. As with any other radiographical technique, routine use of CBCT is not acceptable clinical practice. CBCT certainly has a place in paediatric dentistry, but its use must be justified on a patient case individual basis.

Keywords: cone beam computed tomography; paediatric dentistry; diagnosis; safety.

для пациента, насколько это разумно. И, в-третьих, это «принцип оптимизации», который основывается на том, что каждый стоматолог должен получать максимально качественные снимки, помня о двух предыдущих принципах [1, 28, 38, 43]. В литературе, к сожалению, не всегда ясно, что подразумевается под дозой облучения, соответственно необходимы некоторые объяснения. «Поглощенная доза» (сокращенно D) является мерой количества энергии, поглощенной из пучка излучения на единицу массы ткани; эта единица выражается в Грехах. Раньше энергию измеряли в рад (что расшифровывается как поглощенная доза излучения/RAD), и 1 Грей равен 100 рад. «Эквивалентная доза» (сокращенно H) является мерой, которая позволяет различной радиобиологической эффективности всевозможных типов излучения быть принятой во внимание. Радиационно-весовой коэффициент (сокращенно WR) представляет собой биологический эффект каждого типа излучения. Для рентгеновских лучей этот вес равен «единице», а для альфа-частиц он равен «20». Цифра определяет тяжесть эффекта в зависимости от типа излучения; единицы измерения эквивалентной дозы – Зиверт. В стоматологии зачастую с целью характеристики

эквивалентной дозы применяются милли- или микро-Зиверты. Устаревшей единицей измерения является REM (происходит от Röntgen equivalent man) и 1 Зв равняется 100 рем. Поскольку радиационно-весовой коэффициент (РВК) для рентгеновских лучей равен «1», поглощенная доза и эквивалентная доза равны. Отсюда и та путаница в литературе между Грейями/Зивертами и между поглощенной и эквивалентной дозами. «Эффективная доза» (аббревиатура E) позволяет сравнивать дозы от различных исследований различных частей тела. Эффективная доза для рентгеновских лучей равна эквивалентной дозе (потому что РВК=1) и, следовательно, также выражается в единицах Зв. Дозы преобразуются в эквивалентные дозы на все тело. Это необходимо для различия чувствительности некоторых тканей к ионизирующему облучению. Таким образом, был предложен тканевой весовой коэффициент (сокращенно WT) для радиочувствительных органов и тканей. Сумма всех тканевых весовых факторов принята за «1»- это и тканевой весовой коэффициент для всего тела. Чем более радиочувствительной является ткань, тем выше для нее тканевой весовой фактор (ТВФ) [38,42,24].

Ясно то, что один периапикальный рентгеновский снимок, полученный при идеальных условиях, представляет собой лишь очень малую часть дополнительной лучевой нагрузки для пациента, в противоположность, например, КТ черепа. Последнее почти равно дополнительному году радиационного фона.

Доля медицинского облучения увеличилась в огромных масштабах за последние 20-30 лет по некоторым причинам. Во-первых, это обильное использование КТ исследования, которое, если это оправдано, перевешивает риски для здоровья пациента; тем не менее их использование возросло. Во-вторых, это более широкое использование медицинской визуализации для судебно-медицинских целей. Последнее, в некоторых районах мира, имело большое влияние на вклад в облучение населения [5, 9, 11, 13, 19, 20, 26, 27, 28, 33]. Дети более подвержены воздействию ионизирующей радиации и, следовательно, имеют более высокие риски, потому что, во-первых, их ткани растут более быстрыми темпами и поэтому более уязвимы к повреждениям ДНК и другим изменениям; во-вторых, шанс развития опухолей после выполнения ОПТГ намного выше в детском возрасте, чем, к примеру, у 50-летнего человека, поскольку времени, достаточного для развития опухолей, у ребенка статистически и реально много больше [31, 35].

Ионизирующее излучение обладает потенциалом в развитии биологических эффектов. Они подразделяются на «детерминированные и стохастические эффекты». «Детерминированные эффекты» будут иметь место, когда применяется высокоэнергетическая ионизирующая радиация. Они могут приводить к повреждению тканей, такие, как покраснение

и развитие катаракты. Выраженность этих эффектов зависит от дозы облучения и, таким образом, существует определенный порог дозы, который должны быть превышены для того, чтобы иметь эффект. Аварии, такие как в Чернобыле и Фукусиме, и атомные бомбардировки Хиросимы и Нагасаки предоставили необходимую информацию об этих пороговых дозах (Hendee и соавт. 2002; Graham и соавт. 2004; Whaites 2007; Mettler and Upton 2008) [10, 14, 24, 41].

Энергии, используемые для стоматологических воздействия, намного ниже этих доз, и, как вывод, детерминированные эффекты никогда здесь не произойдут. Однако стохастические, они же возможные, эффекты могут иметь место при применении низкоэнергетической радиации, которая как раз используется в стоматологии. Эти эффекты непредсказуемы, поскольку не существует пороговой дозы, которая должна быть превышена, чтобы вызвать эффект, такой как лейкемия или развития опухоли. Развитие так называемых стохастических эффектов основано на вероятности или законе случая, поэтому всегда следует принимать меры предосторожности при облучении пациентов. Как заключение, каждый рентгеновский снимок таит в себе потенциальный стохастический эффект (ранее упоминавшаяся здесь линейная беспороговая (LNT) модель) и еще более тревожным является тот факт, что тяжесть проявления этого эффекта не связана с дозой облучения (Hendee и соавт. 2002; Graham и соавт. 2004; Whaites 2007; Mettler and Upton 2008) [14, 10, 42, 24].

КЛКТ в детской стоматологической практике

Все вышеперечисленное представляет применение конусно-лучевой КТ (КЛКТ) в детской стоматологии под иным углом. Очевидно, что нет необходимости особых рекомендаций для КЛКТ, так как три основных принципа радиационной защиты могут быть применены к оценке необходимости КЛКТ обследования в конкретной ситуации. Индивидуальный подход имеет больше смысла, чем таблица с показаниями к КЛКТ, и фокусируется на полях зрения размеров и разрешения изображений в детской стоматологии. Исследования подчеркивают, что обоснованность применения у пациентов более высокой эффективной дозы, чем при обычном периапикальном снимке, все еще нуждается в оценке. В добавление к этому следует стремиться к оптимизации, поскольку любая доза облучения должна всегда быть настолько низкой, насколько это разумно достижимо [5, 9, 11, 13, 19, 20, 26, 27, 28, 33].

Клинические аспекты применения КЛКТ

Эффективная доза

Поле зрения и пространственное разрешение любого сканирования могут оказать существенное влияние на эффективную дозу. Повышение размерной точности вокселя сканирования с 400 до 200 мкм удваивает эффективную дозу, потому что в два раза

больше проекций должно быть сделано. Значительное расхождение между цифрами упомянутых различных исследований можно отнести к различным методам расчета и использования различных марок аппаратов КЛКТ (различные поля зрения, kV и mA настроек). Несмотря на то, что эффективные дозы при КЛКТ значительно ниже, чем дозы от мультиспиральной КТ, они все еще намного выше, чем генерируемые дозы от обычных дентальных рентгеновских аппаратов. Разница между эффективной дозой от ОПТТ и эффективной дозой от КЛКТ может составлять от 5 до 16 раз [31, 35]!

Устройства радиационной защиты

Интересное исследование было опубликовано (Qu и соавт., 2012) по поводу применения воротника, защищающего щитовидную железу при получении КЛКТ снимков, в котором было продемонстрировано, что правильное использование такого воротника может снизить дозу для щитовидной железы и пищевода порядка 50% и 40% соответственно [30]. Однако общая эффективная доза для пациента не уменьшается. Последнее означает, что происходит лишь локальное снижение эффективной дозы, достижимое с помощью применения свинцового экрана. Возможность применения свинцовых очков также упоминалась с целью снижения дозы облучения на глаза в процессе КТ, поскольку их облучение может приводить к помутнению (катаракте), и как следствие, к ухудшению зрения. Из-за индивидуальных различий в восприимчивости к ионизирующему излучению, тот факт, что дети будут специально защищены, всегда следует принимать во внимание радиационную защиту. Свинцовые очки, которые носили пациенты (дети) доказали эффективность и приводили к снижению дозы на 67%, хотя это, конечно, имело место только, когда в зону облучения попадала орбита [29]. Ludlow (2011) подчеркивает, что радиационная защита является самой важной у детей, особенно вследствие значительного увеличения числа получаемых рентгеновских изображений. Этим исследованием подчеркивается важная роль, которую могут играть производители техники в сотрудничестве с практиками и клиницистами, по снижению дозы облучения без ухудшения качества изображения [22].

Использование КЛКТ

De Vos и соавторы (2009) составили список работ по использованию КЛКТ в различных отраслях стоматологии. КЛКТ преимущественно использовалось в челюстно-лицевой хирургии (41%), с последующими денто-альвеолярными проблемами (29%), ортодонтии (16%) и дентальной имплантологии (11%). Эндодонтия, пародонтология, общая и судебная стоматология забрали оставшиеся 9%, в то время как лишь 1% работ был связан с применением КЛКТ в оториноларингологии [6].

Основное преимущество КЛКТ состоит в том, что она предлагает реальный размер данных с многоплоскостными поперечными (аксиальная, сагиттальная и фронтальная плоскости) и трехмерными реконструкциями, в результате одного скана. Последнее означает намного меньшую эффективную дозу для пациента по сравнению с мультиспиральной (медицинской) КТ (МСКТ). Основной недостаток состоит в том, что единицы Хаунсфилда (НУ), которые доступны в КТ исследованиях, не могут быть получены, а также то, что возможна лишь ограниченная дифференциация мягких тканей [1], что делает КТ неподходящей в качестве единственного метода диагностики при черепной травме с возможным повреждением головного мозга [6]. Эти авторы также выражают свою озабоченность тем, что КЛКТ в основном приобретают врачи-стоматологи общей практики или челюстно-лицевые хирурги, в отличие от медицинской визуализации, где 3D-устройствами, например МСКТ, оперируют лишь специалисты-радиологи. Исследователи указывают в литературе на такие ошибки, что КЛКТ пользователи не всегда знают технические аспекты оборудования, которое они используют, что в один прекрасный день может привести к медико-правовым последствиям. Важно, что КЛКТ улучшает обслуживание пациентов, но практикующим специалистам необходимо надлежащее образование при работе с данным видом оборудования. Пользователи должны уметь читать и интерпретировать весь отсканированный объем, как настоятельно рекомендуется автором этого обзора. Кроме того, медико-правовая ответственность будет также играть важную роль в будущем, поскольку трехмерные пакеты данных содержат значительное количество информации вне области интереса [20].

Височно-нижнечелюстной сустав

Обзор потенциального использования КЛКТ по челюстно-лицевой части, опубликованных в 2012 году, упоминают, что КЛКТ имеет место в диагностике кальцинированных тканей, но, что ее использование для диагностики состояния мягких тканей следует всегда избегать. Пониженная лучевая доза по сравнению с МСКТ, может являться причиной предпочтения КЛКТ, в особенности, с целью обнаружения патологии или травмы твердых тканей [1]. Похожие указания в отношении использования КЛКТ с целью обследования ВНЧС подчеркивают, что КЛКТ должна использоваться только тогда, когда имеются вопросы по костным структурам ВНЧС либо в качестве дополнения к МРТ, поскольку на последней костные изменения иногда не могут быть оценены правильно. Множественные изменения в мягких тканях влияют на костные контуры мышечка, и поэтому КЛКТ должна быть дружелюбным диагностическим инструментом, поскольку она оказывает низкую лучевую нагрузку на пациента, в противоположность МСКТ [2].

Хирургическое планирование

Измерения, проводимые с помощью КЛКТ, являются также достаточно точными, чтобы использоваться для хирургического планирования. Кроме того, операции по имплантации непрорезавшихся зубов, пригодных для использования с целью аутоотрансплантации, могут быть спланированы с помощью измерений перед экстракцией для подготовки к операции ложа «имплантата» [32].

Артефакты КЛКТ

Spin-Neto и соавторы (2012) затронули проблему артефактов при движениях пациента, которые приводят к размытости снимков и, следовательно, к непригодности для диагностических целей. К движениям пациентов относят дыхание, сердцебиение, сокращения мышц и тремор. Когда это происходит, изображение становится размытым, что проявляется полосчатыми или кольцеобразными артефактами, а также двойными контурами. Для всех имеющих в настоящее время аппаратов КЛКТ любое движение пациента приведет к геометрическим ошибкам в процессе реконструкции, что в свою очередь повлечет низкое качество изображений [34].

Donaldson и соавторы (2012) исследовали взаимосвязь между артефактами движения на КЛКТ (приводящих к отсутствию резкости или двойным контурам костных границ) и возрастом пациента. Они обнаружили, что только 0,5% изображений, которые они случайно выбрали из своей базы данных, необходимо было повторить из-за артефактов движения. Вовлеченные субъекты были либо моложе 16 или старше 65 лет. Они переоценили свою базу данных и обнаружили, что в младшей возрастной группе артефакты движения встречались в 10,7% случаев, среди которых на долю мальчиков приходилось 86%. В старшей возрастной группе (старше 65 лет) распространенность артефактов движения составила 21,6%, среди которых женщины составили 62,5%. Последняя группа имела другие проблемы со здоровьем, что объясняет причину возникновения артефактов движения [8]. Важно предупреждать артефакты движения, особенно у детей, чтобы исключить необходимость повторного выполнения КЛКТ и, следовательно, повышенной дозы облучения [12].

Ортодонтия

В некоторых ортодонтических докладах был сделан акцент на признании так называемых ортодонтических ориентиров через КЛКТ, в сравнении с классическим цефалометрическим двухмерным изображением. Вывод таков, что двумерные изображения по-прежнему являются предпочтительным методом и, что КЛКТ должно использоваться только в очень особых, хорошо отобранных и обоснованных случаях. КЛКТ у детей следует использовать с осторожностью, так как облучение детей должно быть как можно ниже (Kumar и соавт. 2007; Alves Garcia Silva и соавт. 2008; Delamare и соавт. 2010; Jacquet и соавт.

2010; Mah и соавт. 2011) [21, 3, 7, 16, 23, 25]. Распространенность случайных обнаружений по КЛКТ изображениям у ортодонтических пациентов также была исследована, и пришли к выводу, что почти в 25% случаев были зарегистрированы следующие случайно значимые результаты: проблемы дыхательных путей, проблемы височно-нижнечелюстного сустава, проблемы эндодонтического характера и патология верхнечелюстной пазухи [15, 18]. Любопытно, что другой обзор в 2012 году, составленный Van Vlijmen и соавт., заключает, что «нет никаких высококачественных доказательств о преимуществах использования КЛКТ в ортодонтии». Некоторые авторы предполагают, что будущие исследования будут сосредоточены на последствиях использования КЛКТ в ортодонтическом лечении, процессе лечения и результатах лечения в количественном выражении [36].

Эндодонтическое лечение

Wang и соавт. (2011) изучали *in vivo* результаты эндодонтического лечения зубов с подозрением на переломы корня. КЛКТ по-прежнему показывает лучшие результаты в случаях, когда эндодонтический obturirующий материал ухудшает обнаружение перелома корня, чем простая рентгенограмма. Следует отметить, что 70% зубов, участвовавших в этом исследовании, не имело внутриканального лечения, что может объяснить результаты. Наличие obturirующего материала и металлических штифтов вызывает звездчатые мерцающие артефакты, которые могут влиять на оценку переломов корня [38?39]. Dalili Kajan и Taromsari (2012) выполнили *in vivo* исследования на 10 пациентах, все с эндодонтически пролеченными зубами и клиническими симптомами перелома корня. Они диагностировали КЛКТ изображения до удаления зуба, которые служили в качестве «золотого стандарта». Несмотря на их энтузиазм по поводу использования КЛКТ для обнаружения перелома корня, авторы упоминают вопрос о дозе облучения и важность хорошего клинического обследования, которое лежит в основе лечебной тактики и обоснования дополнительного использования ионизирующего излучения [4]. Kambungton и соавторы (2012) завершил исследования *in vitro* для оценки разницы в точности обнаружения вертикальных трещин корня между КЛКТ (Veraview Eposc®), интраоральной цифровой рентгенографией (CMOS) и аналоговой (F-speed) пленкой. Они пришли к выводу, что не было никаких существенных различий между этими тремя методиками, несмотря на то, что КЛКТ набрало больше всех баллов [17]. Последнее означает отсутствие интереса и критики в снижении лучевой нагрузки на пациента и радиационной защиты, так как результат ортодонтического лечения не должен априори оцениваться с помощью ионизирующего излучения. Похожие результаты были также обнаружены в обзоре статьи, опубликованной в 2011 году Kapila и соавторами [18]. Последнее подтверждается

более ранней работой Wang и соавторами (2011), которая подчеркивает, что КЛКТ следует использовать только, если это необходимо, в связи с дозой облучения [38, 39].

Выявление кариеса зубов

В исследовании *in vitro*, сравнивающем два аппарата КЛКТ (New Tom 3G® и 3DX Accuitomo®), аналоговую пленку (Kodak Insight®) и системы хранения фосфорных пленок (Digoga®) по их способности обнаруживать интерпроксимальный и окклюзионный кариес, Accuitomo® был лучшим, но похожим на аналоговую пленку или систему фосфорных пленок [11,40]. Авторы подчеркивают, что эффективная доза излучения для интраоральных изображений варьирует от 1 до 8 мкЗв, в то время как эффективная доза при применении КЛКТ будет значительно выше. Они подчеркивают, что особенно в педиатрической практике дозы облучения должны быть настолько низкими, насколько это возможно, и любое воздействие оправданным. Использование КЛКТ не может быть оправданным для диагностики кариеса. Последнее может быть, однако, случайной находкой на КЛКТ изображении. Young и соавторы (2009) провели аналогичные исследования *in vitro*, также используя 3DX Accuitomo®, и сравнил его с твердотельным сенсором от Gendex® по отношению к обнаружению кариеса [44]. Исследователи смогли обнаружить интерпроксимальные поражения в дентине с помощью КЛКТ изображений. Что касается интерпроксимальных поражений эмали, КЛКТ и твердотельный сенсор оба показали худшие результаты. Для окклюзионного кариеса было отмечено, что КЛКТ чаще приводит к ложноположительным заключениям. Было отмечено, что дентин иногда показывал менее рентгеноконтрастные области на КЛКТ изображениях, приводя к ложноположительным оценкам. Очевидно, что эти ложные рентгенопрозрачные области могут быть вызваны геометрией облучения, поскольку дентин под бугорками в меньшей степени ослабляет рентгеновские лучи, чем дентин в остальной части тела коронок зубов. Этот эффект можно было бы избежать, когда отдельные зубы были бы обследованы.

Эффективная доза излучения в 20 мкЗв, которой пациенты подвергаются при прохождении 40 x 40 мм КЛКТ сканирования с Accuitomo®, существенно отличается по сравнению с четырьмя рентгенограммами в прикусе с прямоугольным коллиматором (5 мкЗв). Диагностика кариеса может быть выполнена в определенной степени, при оценке КЛКТ изображений, которые были сделаны для других целей. Очевидно, что они никогда не должны применяться для диагностики только кариеса (Young и др. 2009; Wenzel и др. 2013).

Выводы

Показаниям к применению КЛКТ в детской стоматологии пока еще не уделялось достаточного

внимания, но трех основных принципов радиационной защиты должно быть достаточно для использования КЛКТ у детей. КЛКТ, конечно, следует применять в педиатрической практике, но ее использование должно быть обосновано в каждом конкретном случае, где выгода явно перевешивает потенциальные риски. Щитовидная железа и орбиты, в частности, должны оставаться вне первичного пучка как можно дольше. Эффективная доза облучения не должна оставаться недооцененной, особенно в детском возрасте, когда человек более восприимчив к стохастическим биологическим эффектам.

ЛИТЕРАТУРА

- Ahmad M., Jenny J., Downie M. Application of cone beam computed tomography in oral and maxillofacial surgery. *Austr Dental J.* 2012;57:82-94.
- Alkhader M., Kuribayashi A., Ohbayashi N., Nakamura S., Kurabayashi T. Usefulness of cone beam computed tomography in temporomandibular joints with soft tissue pathology. *Dentomaxillofac Radiol.* 2010; 39:343-8.
- Garcia Silva M.A., Wolf U., Heinicke F. et al. Cone beam computed tomography for routine orthodontic treatment planning: a radiation dose evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthoped.* 2008; 135:1-5.
- Dalili Kajan Z., Taromsari M. Value of cone beam CT in detection of dental root fractures. *Dentomaxillofac Radiol.* 2012; 41:3-10.
- Davies J., Johnson B., Drage N.A. Effective doses from cone beam CT investigations of the jaws. *Dentomaxillofac Radiol.* 2012; 41:30-6.
- De Vos W., Casselman J., Swennen G. Cone-beam computerized tomography (CBCT) imaging of the oral and maxillofacial region: a systematic review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2009; 38:609-25.
- Delaimare E.L., Liedke G.S., Vizzotto M.B. et al. Influence of a programme of professional calibration in the variability of landmark identification using cone beam computed tomography-synthesized and conventional radiographic cephalograms. *Dentomaxillofac Radiol.* 2010; 39:414-23.
- Donaldson K., O'Connor S., Heath N. Dental cone beam CT image quality possibly reduced by patient movement. *Dentomaxillofac Radiol.* 2012; doi: 10.1259/dmfr/91866873.
- Farman A.G. ALARA still applies editorial. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2005; 100:395-7.
- Graham D.T., Cloke P. Radiation protection. In: Graham DT, Cloke P. Principles of radiological physics, 4th edn. Edinburgh: Churchill Livingstone; 2004, p. 339-360.
- Haite-Neto F., Wenzel A., Gottfredsen E. Diagnostic accuracy of cone beam computed tomography scans compared with intraoral image modalities for detection of caries lesions. *Dentomaxillofac Rad* 2008; 37:18-22.
- Hanzelka T., Foltan R., Horka E., Sedy J. Reduction of the negative influence of patient motion on the quality of CBCT scan. *Med Hypotheses.* 2010; 75:610-2.
- Hassan B.A., Payam J., Juyanda B., van der Stelt P., Wesselink P.R. Influence of scan setting selections on root canal visibility with cone beam CT. *Dentomaxillofac Radiol.* 2012; 41:645-8.
- Hendee W.R., Ritenour E.R. Radiation quantity and quality. 4th ed. New York: Wiley; 2002. p. 91-115.
- Isaacson K.G., Thorn A.R., Horner K., Whaites E. Orthodontic radiographs guidelines. 3rd ed. London: British Orthodontic Society; 2008.
- Jacquet W., Nyssen E., Bottenberg P. et al. Novel information theory based method for superimposition of lateral head radiographs and cone beam computed tomography images. *Dentomaxillofac Radiol.* 2010; 39:191-8.
- Kambungton J., Janhom A., Prapayatsok S., Pongsiriwet S. Assessment of vertical root fractures using three imaging modalities: cone beam CT, intraoral digital radiography and film. *Dentomaxillofac Radiol.* 2012; 41:91-5.
- Kapila S., Conley R.S., Harrell We Jr. The current status of cone beam computed tomography imaging in orthodontics. *Dentomaxillofac Radiol.* 2011; 40:24-34.
- Katheria B.C., Kau C.H., Tate R. et al. Effectiveness of impacted and supernumerary tooth diagnosis from traditional radiography versus cone beam computed tomography. *Ped Dent.* 2010; 32: 304-9.
- Koong B. Cone beam imaging: is this the ultimate imaging modality? *Clin Oral Impl Res.* 2010; 21:1201-8.
- Kumar V., Ludlow J.B., Mol A., Cevidanes L. Comparison of conventional and cone beam CT synthesized cephalograms. *Dentomaxillofac Radiol.* 2007; 36:263-9.
- Ludlow J.B. A manufacturer's role in reducing the dose of cone beam computed tomography examinations: effect of beam filtration. *Dentomaxillofac Radiol.* 2011; 40:115-22.
- Mah J., Yi L., Huang R.C., Choo H. Advanced applications of cone beam computed tomography in orthodontics. *Semin Orthod.* 2011; 17:55-71.
- Mettler F.J., Upton A.C. Basic radiation physics, chemistry, and biology. In: Mettler Jr FA, Upton AC, editors. Medical effects of ionizing radiation. 3rd ed. Philadelphia: Saunders Elsevier; 2008. p. 1-25.
- Nervina J.M. Cone beam computed tomography use in orthodontics. *Austr Dent J* 2012 57 Suppl 1:95-102.
- Patel S., Horner K. Editorial: the use of cone beam computed tomography in endodontics. *Int Endod J.* 2009; 42:755-6.
- Patel S., Wilson R., Dawood A., Mannocci F. Detection of periapical pathology using intraoral radiography and cone beam computed tomography a clinical study. *Int Endod J.* 2011; doi: 10.1111/j.1365-2591.2011.01989.x.
- Pauwels R., Beinsberger J., Collaert B. The SEDENTEXCT Project Consortium, et al. Effective dose range for dental cone beam computed tomography scanners. *Eur J Rad.* 2012;81:267-71.
- Prins R., Dauer L.T., Colosi D.C. et al. Significant reduction in dental cone beam computed tomography (CBCT) eye dose through the use of leaded glasses. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011;112:502-7.
- Qu X.M., Li G., Sanderink G.C., Zhang Z.Y., Ma X.C. Dose reduction of cone beam CT scanning for the entire oral and maxillofacial regions with thyroid collars. *Dentomaxillofac Radiol.* 2012; 41:373-8.
- Roberts J.A., Drage N.A., Davies J. Effective dose from cone beam CT examinations in dentistry. *Br Dent J of Radiol.* 2009; 82:35-40.
- Sakabe J., Kuroki Y., Fujimaki S., Nakajima I., Honda K. Reproducibility and accuracy of measuring unerupted teeth in limited cone beam X-ray CT. *Dentomaxillofac Radiol.* 2007; 36:2-6.
- Scarfe W.C., Li Z., Aboelmaaty W., Scott S.A., Farman A.G. Maxillofacial cone beam computed tomography: essence, elements and steps to interpretation. *Austr Dent J.* 2012; 57 Suppl 1:46-60.
- Spin-Neto R., Mudrak J., Matzen L.H. et al. Cone beam CT image artefacts related to head motion simulated by a robot skull: visual characteristics and impact on image quality. *Dentomaxillofac Radiol.* 2012; 42:1-8. doi: 10.1259/dmfr/32310645.
- Theodorakou C., Walker A., Horner K. The Sedentext Project Consortium, et al. Estimation of paediatric organ and effective doses from dental cone beam CT using anthropomorphic phantoms. *Br J Radiol.* 2012;85:153-60.
- Van Vlijmen O.J., Kuijpers M.A., Berge S. et al. Evidence supporting the use of cone-beam computed tomography in orthodontics. *JADA.* 2012; 143:241-52.
- Wall B.P., Kendall G.M., Edwards A.A. et al. What are the risks from medical X-rays and other low dose radiation? *Brit J Radiol.* 2006;79:285-94.
- Wang P., Yan X.B., Lui D.G. et al. Detection of dental root fractures by using cone-beam computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol.* 2011a; 40:290-8.
- Wang P., He W., Sun H., Lu Q., Ni L. Detection of vertical root fractures in non-endodontically treated molars using cone-beam computed tomography: a case report of four representative cases. *Dent Traumatol.* 2011; doi: 10.1111/j.1600-9657.2011.01072.x.
- Wenzel A., Hirsch E., Christensen J. et al. Detection of cavitated approximal surfaces using cone beam CT and intraoral receptors. *Dentomaxillofac Radiol.* 2013; 42:39458105.
- Whaites E. Dose units and dosimetry. In: Whaites E. editor. Essentials of dental radiography and radiology. 4th ed. London: Churchill Livingstone Elsevier; 2007a. p. 25-8.
- Whaites E. The biological effects and risks associated with X-rays. In: Whaites E, editor. Essentials of dental radiography and radiology. 4th ed. London: Churchill Livingstone Elsevier; 2007b. p. 29-33.
- Wortche R., Hassfeld S., Lux C.L. et al. Clinical application of cone beam digital volume tomography in children with cleft lip and palate. *Dentomaxillofac Radiol.* 2006;35:88-94.
- Young S.M., Lee J.T., Hodges R.J. et al. A comparative study of high-resolution cone beam computed tomography and charged-coupled device sensors for detecting caries. *Dentomaxillofac Rad.* 2009; 38:445-51.