

## РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДИАГНОСТИКИ ВОЗРАСТНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПЕРСТНЕВИДНОГО И ЧЕРПАЛОВИДНЫХ ХРЯЩЕЙ ГОРТАНИ ЧЕЛОВЕКА

Золотенкова Г.В.<sup>1,2</sup>, Полетаева М.П.<sup>1</sup>, Гульгельдиев Г.Г.<sup>1,3</sup>, Нарина Н.В.<sup>4</sup>, Серова Н.С.<sup>1</sup>

1 - ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет). г. Москва, Россия.

2 - Бюро судебно-медицинской экспертизы Департамента здравоохранения города Москвы. г. Москва, Россия.

3 - Центральное бюро судебно-медицинской экспертизы Министерства здравоохранения и медицинской промышленности Туркменистана. г. Ашхабад, Туркменистан.

4 - Российский центр судебно-медицинской экспертизы Минздрава России. г. Москва, Россия.

**О**дним из вариантов повышения точности диагностики возраста неустановленного лица является расширение диапазона исследуемых объектов и использование количественных методов оценки, характеризующихся высокой валидностью. Традиционным для этих целей является рентгенологическое исследование костного скелета. Динамика окостенения хрящей гортани изучена недостаточно.

**Цель исследования.** Изучить возрастную динамику процессов оссификации на рентгенограммах хрящей гортани и оценить возможность ее использования в качестве маркера возраста при судебно-медицинском исследовании неопознанных трупов.

**Материалы и методы.** Материалом для исследования послужили препараты хрящей гортани (черпаловидные и перстневидные) и их рентгенограммы от 100 трупов мужского пола, в возрасте от 15 до 93 лет. В работе использованы методы визуальной оценки, рентгенологический, статистический и интеллектуальный анализа данных (алгоритмы классификации).

**Результаты.** В ходе настоящего исследования были определены стадии окостенения хрящей гортани, изучена последовательность происходящей оссификации и дана количественная оценка данного процесса. Статистический анализ результатов показал, что между процентным содержанием костной ткани в образцах перстневидного и черпаловидных хрящей и возрастом имеется прямая корреляционная связь ( $r=0.82$ ,  $r=0.8$ ).

**Заключение.** Радиографическое исследование хрящей гортани для оценки степени выраженности их оссификации может использоваться для судебного-медицинского установления возраста, в том числе и как экспресс-метод предварительной диагностики возрастной группы.

**Ключевые слова:** лучевая диагностика, диагностика возраста, хрящи гортани, перстневидный хрящ, черпаловидный хрящ, окостенение хряща, идентификация личности.

Контактный автор: Полетаева М.П., e-mail: poletaeva.maria2013@yandex.ru

*Для цитирования:* Золотенкова Г.В., Полетаева М.П., Гульгельдиев Г.Г., Нарина Н.В., Серова Н.С. Рентгенологические аспекты диагностики возрастных изменений перстневидного и черпаловидных хрящей гортани человека. REJR 2021; 11(3):57-66. DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-3-57-66.

Статья получена: 16.06.21

Статья принята: 09.09.21

RADIOLOGICAL FEATURES OF AGE CHANGES IN THE CRICOID AND ARYTENOID HUMAN LARYNX CARTILAGES

Zolotenkova G.V.<sup>1,2</sup>, Poletaeva M.P.<sup>1</sup>, Gulgeldiev G.G.<sup>1,3</sup>, Narina N.V.<sup>4</sup>, Serova N.S.<sup>1</sup>

1 - Sechenov University, Moscow, Russia.

2 - Design information technologies center of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

3 - Central Bureau of forensic medical examination of the Ministry of health and medical industry of Turkmenistan. Ashgabat, Turkmenistan.

4 - Russian Center for Forensic Medicine Ministry of Health of Russia, Moscow, Russia.

One of the options for improving the accuracy of diagnosing the age of an unidentified person is to expand the range of objects and methods used for research. The bones of the skeleton are traditional for these purposes. The dynamics of ossification of laryngeal cartilage has not been sufficiently studied.

**Purpose.** To determine the relationship between the area of laryngeal cartilage ossification sites and age and to evaluate the possibility of using the dynamics of their ossification as an age marker for forensic identification of an individual.

**Material and methods.** The material for the study was laryngeal cartilage (scooped and ring-shaped) from 100 male corpses, aged from 15 to 93 years. The paper uses methods of visual assessment, radiological, quantitative, and statistical analysis.

**Results.** With increasing age, the ratio of bone and cartilage tissue in arytenoid cartilage and cricoid cartilage changes, this is expressed in an increase in the area of bone and a decrease in the proportion of cartilage tissue. Analysis of the results showed that there is a strong direct relationship between the percentage of bone tissue in the cricoid cartilage and arytenoid cartilage sample on the x-ray and age ( $r=0.82$ ,  $r=0.8$ ). The obtained results demonstrated that ossification of cartilage structures has a certain sequence, and a reliable relationship between age and the ossification area of the studied laryngeal structures was determined.

**Conclusion.** Radiographic examination of laryngeal cartilage and assessment of laryngeal ossification can be used as an Express method of preliminary age diagnostics for identification of the unknown person.

Keywords: radiological examination, age estimation, laryngeal cartilages, cricoid cartilage, arytenoid cartilage, cartilage ossification, medical identification.

Corresponding author: Poletaeva M.P., e-mail: poletaeva.maria2013@yandex.ru

For citation: Zolotenkova G.V., Poletaeva M.P., Gulgeldiev G.G., Narina N.V., Serova N.S. Radiological features of age changes in the cricoid and arytenoid human larynx cartilages. REJR 2021; 11(3):57-66. DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-3-57-66.

Received: 16.06.21

Accepted: 09.09.21

Ф

ормирование биологического профиля неустановленного индивида посредством диагностики общегрупповых признаков является базовым элементом в процессе судебно-медицинской идентификации личности. Традиционными объектами для подобного рода исследований являются элементы костного скелета [1 - 3]. Исследований в отношении диагностики общегрупповых признаков с использованием хрящей гортани недостаточно, при этом в имеющихся публикациях прослеживается явный дисбаланс в

пользу изучения щитовидного хряща (ЩХ), его половых отличий [4 - 10]. Перстневидный (ПХ) и черпаловидный хрящи (ЧХ) используются в качестве объектов изучения крайне редко, вследствие чего отсутствуют точные количественные характеристики их возрастных изменений.

Вместе с тем, именно рентгенографическое исследование нескольких элементов скелета повышает точность диагностики возраста, при этом в условиях фрагментации тела, результаты оценки отдельных объектов, в частности хрящей гортани, могут иметь

решающее значение [11], а полученное цифровое изображение – надежным объектом доказательной базы [12]. Проведенный предварительный анализ выявил значительные расхождения в суждениях авторов о связи оссификации хрящей гортани с возрастом. Общий консенсус подтверждает наличие различной скорости окостенения у мужчин и женщин, однако, в большинстве своем, исследователи воздерживаются от предоставления каких-либо корреляций с определенным возрастом [4 - 8].

#### **Цель исследования.**

На основании вышеизложенного сформулирована цель нашего исследования: изучить возрастную динамику процессов оссификации хрящей гортани и оценить возможность ее использования в качестве маркера возраста при судебно-медицинском исследовании неопознанных трупов.

Для достижения поставленной цели разработан дизайн исследования, включающий следующие этапы: изучение тенденции, скорости развития и топографии окостенения хрящей гортани, изучение закономерностей с использованием алгоритмов машинного обучения, выявление достоверных корреляционных связей с возрастом на основе использования методов описательной статистики.

#### **Материалы и методы.**

В работе использован архивный материал медико-криминалистического отдела ГБУЗ МО «Бюро судебно-медицинской экспертизы» и отделения медико-криминалистических исследований ГБУЗ «Бюро судебно-медицинской экспертизы Департамента здравоохранения Москвы»: препараты хрящей гортани и их цифровые изображения. Рентгенография выполнена на рентгеновском комплексе, включающем аппарат рентгеновский диагностический «Пардус – У» (производства ЗАО «ЭТЕХ-Мед»), цифровую систему компьютерной радиологии Fire CR+ для получения и обработки рентгеновских изображений, Сканер FireCR Flash Reader (3DISC IMAGING, Корея), программное обеспечение Quantor Vet+. Режим съемки: 30 кВ, 100 мкА, 1 с.

Графическое изображение рентгенограммы хрящей гортани (ПХ и ЧХ) исследовалось с помощью программы графического анализа изображений (ImageJ). Выборка состояла из 300 объектов (перстневидный – 100 и черпаловидные хрящи – 200) от трупов лиц мужского пола в возрасте от 15 до 93 лет (разрешение этического комитета МГМУ им. И.М. Сеченова (протокол № 10-19 от 17.07.2019)). Критерии не включения: трав-

матические повреждения исследуемого органа, признаки патологических изменений, заболеваний соединительной ткани, эндокринной патологии; выраженные признаки хронической экзогенной интоксикации. Средний возраст выборки составил  $46 \pm 18,2$  года. Для дифференцированного исследования весь возрастной диапазон был разделен на возрастные группы на основе периодизации (М., изд. АПН СССР, 1965).

Алгоритм исследования включал следующие этапы: визуальное определение степени окостенения в баллах, при этом правая и левая стороны оценивались независимо, для нивелирования асимметрии; определение на снимке рентгенограмм общей площади изучаемого объекта, вычисление площади костной и хрящевой ткани в процентах и их соотношение относительно друг друга, учитывалась топография костной ткани в исследуемом образце. Для математического анализа все полученные данные были внесены в электронную базу данных Excel. В дальнейшем обработаны с помощью статистической программы IBM SPSS Statistics 21 с применением методов параметрической статистики, для анализа связи между различными переменными использовался корреляционный анализ Пирсона. Для кластеризации данных использовались методы машинного обучения, в частности, деревья решений и их модификация – алгоритм Random forest (случайный лес). Для двумерной визуализации исходных данных, которая помогает оценить наличие или отсутствие кластерной структуры в данных, применялись методы uMAP и tSNE [12, 13].

#### **Результаты.**

Для количественной характеристики возрастных изменений использована балльная оценка степени окостенения хрящей. Балльная схема оссификации перстневидного хряща выглядит следующим образом: «0» – окостенения отсутствует; «1» – начальные признаки окостенения в области прикрепления черпаловидных хрящей; «2» – активное окостенение началось и представлено в виде небольших (не более  $\frac{1}{4}$  площади пластинки) участков костной ткани от верхнего края пластинки с одной или двух сторон от суставной площадки, как справа, так и слева; «3» – окостенение захватывает верхнюю половину пластинки; «4» – окостенение распространяется на нижнюю половину пластинки и заднюю половину дуги; «5» – полное окостенение, с единичными фрагментарными участками неоссифицированной хрящевой ткани (рис. 1).

Схема балльной оценки окостенения



Рис. 1 а (Fig. 1 a)



Рис. 1 б (Fig. 1 b)

**Рис. 1. Рентгенограммы.**

Перстневидный хрящ; а – 15 лет; б – 75 лет.

**Fig. 1. Radiographs.**

Cricoid cartilage; a – 15 years; b – 75 years.

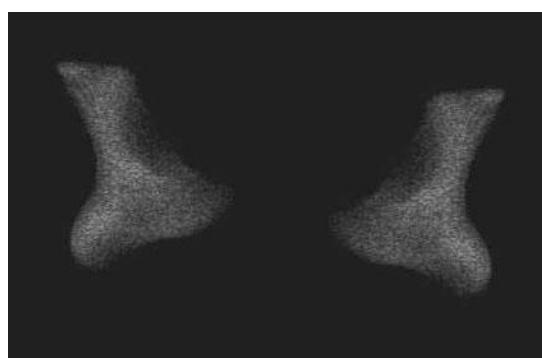


Рис. 2 а (Fig. 2 а)

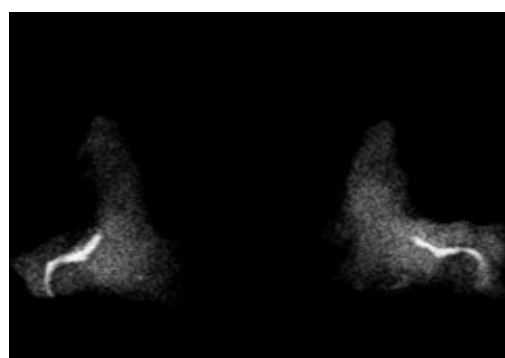


Рис. 2 б (Fig. 2 б)

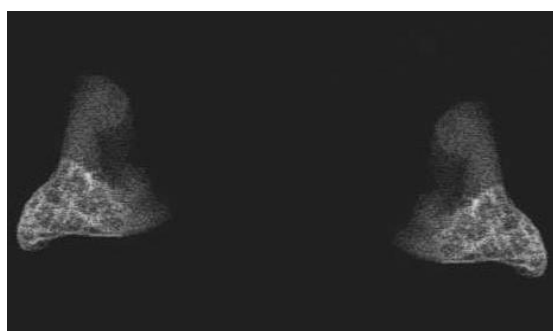


Рис. 2 в (Fig. 2 с)

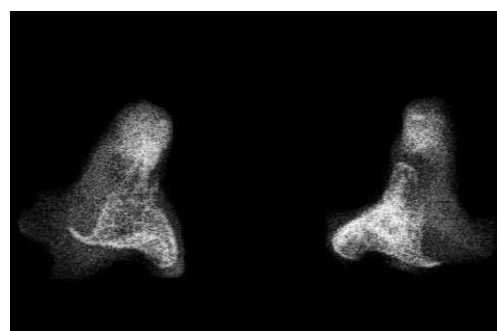


Рис. 2 г (Fig. 2 d)

**Рис. 2. Рентгенограммы.**

Черпаловидные хрящи; а – 15 лет (стадия 0); б – 31 год (стадия II); в – 57 лет (стадия III); г – 85 лет (стадия IV).

**Fig. 2. Radiographs.**

Arytenoid cartilage; a – 15 years (stage 0); b-31 years (stage II ); в-57 years (stage III); г-85 years (stage IV).

черпаловидных хрящей представлена следующим образом: «0» – окостенение отсутствует; «1» – появление начальных точек костной ткани в мышечном отростке; «2» – распространение (увеличение) участков окостенения в мышечном отростке от точечных до небольших островков размерами до несколько миллиметров; «3» – оссификации подвержена большая часть мышечного отростка и в нескольких случаях тело хряща; «4» – процесс окостенения распространяется вверх по задней поверхности тела до его вершины, «5» – более половины поверхности хряща окостеневает, в редких случаях наблюдается практически полное окостенение всего тела, мы-

поэтому данная группа была исключена из дальнейшего анализа. Таким образом, на основе полученных результатов интеллектуального анализа данных, весь исследуемый материал разделен на 5 возрастных групп, были определены минимальные, максимальные и средние значения окостенения для каждой из них. Средние значения содержания костной ткани в процентах для различных возрастных групп представлены на рис. 3.

В соответствии с проведенной визуальной балльной оценкой окостенения (от 1 до 5 баллов) и расчетными результатами процентного содержания костной ткани на рентгенограммах выделены стадии окостенения ПХ и ЧХ.

Стадия окостенения «0» в возрасте до 17 лет ПХ представлена только хрящевой тканью. Возраст от 17 до 20 лет характеризуется появлением небольших участков костной ткани, занимаемая ими площадь составляет до 2,61 % от всего хряща (1 балл) – стадия «I». Возрастная группа 21-35 лет – начальное проявление окостенения, среднее значение площади костной ткани 19,1% (2 балла), стадия «II». В возрасте 36-60 лет участки костной ткани занимают верхнюю половину пластинки и прилежащие участки дуги перстневидного хряща – стадия окостенения ПХ «III» (в среднем 48% площади костной ткани – 3 балла) или умеренно выраженное окостенение. В период 61-75 лет наблюдается дальнейшее окостенение пластинки перстневидного хряща и прилежащих участков дуги – стадия «IV» (среднее значение 61,1% – выраженное окостенение хрящевых структур – 4 балла). У лиц старше 75 лет наблюдается максимальная степень оссификации в ПХ или полное окостенение, в некоторых случаях с частичным сохранением хрящевой ткани вдоль нижнего края дуги – стадия «V», 5 баллов (значительное или полное окостенение), что соответствует распространению более 83,1% костной ткани на рентгенограмме.

В ЧХ возраст до 17 лет – это стадия «0», характеризуется отсутствием окостенения. В возрастной группе 17-20 лет наблюдались лишь точки начального, едва заметного окостенения в мышечном отростке у одного образца в возрасте 19 лет, поэтому среднее значение доли костной ткани для данной возрастной группы составляет 0,3% (1 балл), окостенения ЧХ соответствует стадии «I». В возрасте от 21-35 лет ЧХ так же представлены еще в основном хрящевой тканью, все чаще можно отметить распространяющиеся островки (очаги) костной ткани вдоль мышечного отростка, поэтому для данной воз-

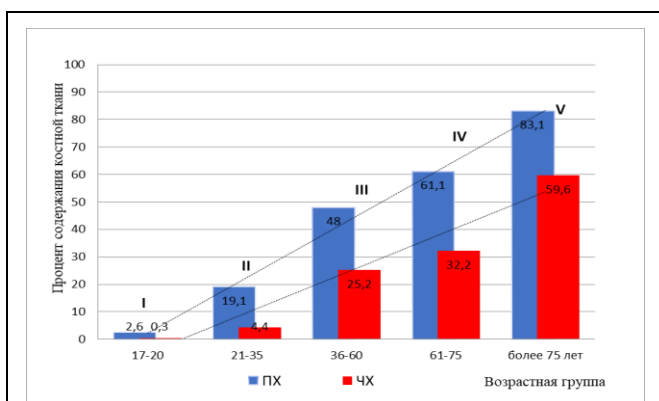


Рис. 3 (Fig. 3)

**Рис. 3. Диаграмма.**

Среднее значение костной ткани на рентгенограмме перстневидного и черпаловидного хрящей в процентах в различных возрастных группах.

**Fig. 3. Diagram.**

The average value of bone tissue on the X-ray of the cricoid and arytenoid cartilage as a percentage in different age groups.

шечного отростка и верхушки ЧХ (рис. 2).

Сформированная на данном этапе база данных числовых значений, характеризующих процентное содержание костной ткани на рентгенограммах изученных хрящей, была проанализирована с использованием методов машинного обучения. Для выявления кластерной структуры в исходных данных применялись библиотеки uMAP и класс TSNE из модуля manifold библиотеки scikit-learn [14, 15]. В ходе выполненной классификации цифровые значения (объекты) были упорядочены в однородные группы – возрастные классы: моложе 17 лет, от 17 до 20 лет, от 21 до 35 лет, от 36 до 60 лет, 61-75 лет, старше 75 лет. В препаратах хрящей гортани лиц моложе 17 лет костная ткань отсутствовала,

растной группы средний процент окостенения составляет 4,4%, начальное окостенение – «стадия II» (2 балла). В возрасте 36-60 лет в черпаловидных хрящах процесс окостенения, захватив всю поверхность мышечного отростка, распространяется по латеральной поверхности на тело хряща – стадия окостенения «III» (костная ткань около 25,2% – 3 балла заметное окостенение). В период 60-75 лет в черпаловидных хрящах оксификации подвержен весь мышечный отросток, чаще всего окостеневают все тело хряща и начало вершины, что соответствует «IV» стадии (32,2% костной ткани – 4 балла). У лиц старше 75 лет в черпаловидных хрящах стадия «V» представляется как выраженное окостенение и характеризуется, как правило, сохранной хрящевой тканью на верхушках хряща и в области голосового отростка (окостенение 59,6% и более – 5 баллов). С дальнейшим увеличением возраста продолжается постепенное окостенение по всей площади хряща, к 90 годам костная ткань может охватывать весь черпаловидный хрящ, за исключением области соединения его с голосовыми связками.

При обработке полученных цифровых данных (площадь окостенения, доля хрящевой ткани в образце) мы пришли к выводу, что с увеличением возраста меняется соот-

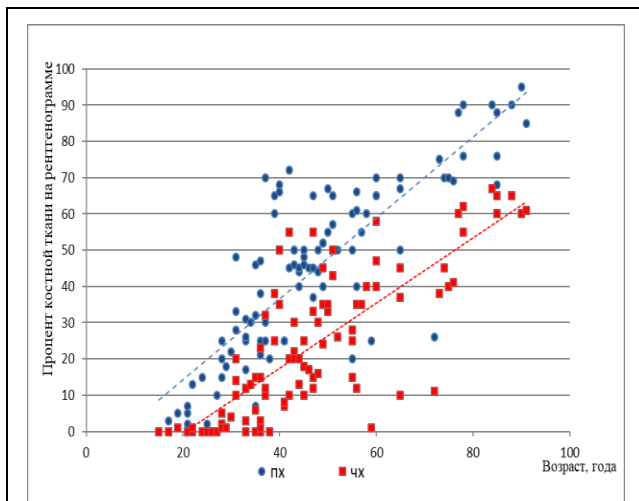
ношение костной и хрящевой ткани в ПХ и ЧХ, это выражено в увеличении площади костной и уменьшении доли хрящевой ткани для всех возрастных групп. Результаты статистического анализа продемонстрировали наличие между процентом костной ткани в образце ЧХ и ПХ на рентгенограмме и возрастом сильной прямой корреляционной связи, близкой к линейной ( $r=0.82$ ,  $r=0.8$  для ПХ и для ЧХ соответственно) (рис. 4).

При построении прогноза ожидаемой величины возраста по доли костной ткани по методу линейной регрессии было установлено, что среднеквадратичная величина ошибки прогнозирования составила 8,3 года. При сопоставлении ожидаемых и фактических значений возраста было получено, что в самой старшей и самой младшей возрастной группе ошибок в определении возраста нет, а в средних возрастных группах возможны ошибочные выводы с попаданием прогноза в соседнюю группу.

**Обсуждение.**

По гистологическому строению перстневидный и большая часть черпаловидного хрящей (за исключением голосовых отростков) относятся к гиалиновым и характеризуются способностью «окостеневать» с возрастом [14 - 16]. Окостенение хрящей гортани – нормальный физиологический процесс энхондрального костеобразования, когда хрящевая ткань замещается костной трабекулярной структурой [9, 10, 15]. Согласно данным ряда авторов, тип окостенения, темп и скорость распространения костной ткани, сроки его наступления зависят от пола и возраста [17 -19]. Хрящи гортани у молодых людей до 17 лет представлены хрящевой тканью. С годами в межклеточном веществе гиалиновых хрящей откладываются соли кальция, из-за чего он становится мутным, непрозрачным, приобретает твердость и хрупкость.

С увеличением возраста появляется нарушение трофики центральных участков хряща, это влечет за собой нарушение обменных процессов, что и приводит к потере способности части клеток к делению. Как следствие, отмечаются качественные и количественные изменения (реорганизация) матрикса хряща, хондроциты частично разрушаются, накапливают кальций, таким образом, запускается атрофический процесс дистрофического обызвествления, внешне выраженный кальцификацией и затем оксификацией хряща. Лучевые методы диагностики позволяют выполнять количественную оценку происходящей оксификации, что может быть использовано для установления возрас-



**Рис. 4 (Fig. 4)**

**Рис. 4. Диаграмма.**

Совместное распределение доли костной ткани на рентгенограмме перстневидного и черпаловидного хрящей и возраста.

**Fig. 4. Diagram.**

Distribution of the share of bone tissue on the radiograph of cricoid cartilage and arytenoid cartilage and age.

та с доказательной точностью.

Процесс окостенения у мужчин, по данным одних авторов, начинается в возрасте 20-25 лет и продолжается всю жизнь, у женщин – на 10 лет позже [4]; по данным других источников начало данного процесса можно наблюдать с 16 и 17 лет у мужчин и женщин соответственно [19]. Ajmani M.L. и др. показали, что хрящи могут быть полностью преобразованы в кость к 65 годам [7]. Известно, что на скорость и темп процессов окостенения у женщин влияет уровень половых гормонов (периоды беременности и другие гормональные перестройки) [16, 19].

В настоящем исследовании получены данные о том, что процесс окостенения у мужчин в ПХ начинается у лиц старше 17 лет, а в ЧХ – старше 19 лет. Активная оссификация начинает динамично прогрессировать в возрастной группе 21-35 лет, когда появляются визуальные изменения хряща. Однако их четкая регистрация возможна только посредством количественной оценки рентгенологических снимков гортани. Окостенение перстневидного хряща на рентгенограмме выглядит следующим образом: картина «непрозрачности» наблюдается у верхней границы пластинки в одной или двух точках с каждой стороны, затем плотность рисунка усиливается по средней линии, в верхней трети пластинки, далее она распространяется на нижнюю половину пластинки с различной степенью выраженности, а затем присоединяется задняя половина дуги, что не противоречит результатам аналогичных исследований [4, 5, 7, 20 - 22]. На рентгенограммах лиц старше 75 лет отмечается выраженная «непрозрачность» хряща, поэтому можно без труда проследить компактное расположение костных трабекул. В исследовании Grandmaison G.L. и др. [23] общая схема окостенения ПХ аналогична представленной в настоящей работе. В своей классификации авторы выделили 4 стадии рентгеноконтрастности (рентгеноплотности) в перстневидном хряще, опираясь на данные Turk и Hogg [4], они описали подробную характеристику стадий у мужчин и женщин, но не привязывали полученные результаты к возрастным группам или возрасту, поэтому использование полученных данных на практике будет затруднительно.

Окостенение ЧХ начинается в мышечном отростке и распространяется на основание хряща, его тело и вершину. Следует отметить, что часть ЧХ остается без изменений и состоит из хрящевой ткани и у самой старшей возрастной группы, так как участок хряща около голосового отростка и сам голо-

совой отросток представлен эластичной хрящевой тканью и не подвергается дегенеративным процессам оссификации [22]. В работе Christine M.P. и др. дано описание гистологической структуры черпаловидного хряща, что подтверждает полученные данные о его неполной оссификации с возрастом, так как в структуре гиалинового хряща в области голосовых отростков обнаружены эластические и коллагеновые волокна, характерные для эластических структур [24]. Эластический каркас черпаловидного хряща играет важную роль в процессе вибрации и голосообразовании и, видимо, поэтому остается без изменений на протяжении всей жизни. Как отмечают авторы данного исследования, процесс этот изучен не достаточно и есть много вопросов о преобразованиях ЧХ и его связок, что требует дальнейших исследований.

Рентгенологическая картина изменений в ЧХ выглядит следующим образом: вначале отмечается помутнение лишь в мышечном отростке, затем большая часть мышечного отростка и тела приобретают большую рентгеноконтрастность, далее непрозрачность распространяется вверх по задней границе вершины хряща и достигает максимальной плотности в старшей возрастной группе. Работы Ajmani M.L. и др., (1980), Turk L.M. и др. (1993), Harrison D.F.N. (1995) так же подтверждают полученную схему окостенения [4, 7, 8, 22]. Результаты исследования не противоречат работе Grandmaison G.L. и др., но в своей работе авторы выделили всего 3 стадии окостенения ЧХ и не разделили картину рентгенологических изменений в ЧХ для мужчин и для женщин. Так же, как и для ПХ, они не указали возрастные диапазоны описанных изменений [23].

Ряд авторов отмечают более выраженную интенсивность окостенения хрящей у мест прикреплений мышц, поэтому у людей некоторых профессий, например, профессиональных певцов, оссификация происходит немного раньше и значительно более быстрыми темпами [25]. Исследование L. Daver, E. Toussiro, P. C. Acquaviva и др. показывают, что хрящи и связки гортани могут подвергаться изменениям вследствие таких системных заболеваний, как ревматоидный артрит [26, 27], эти данные необходимо учитывать при проведении дальнейших исследований. В работе E. Zan, D.M. Yousem и N. Augun проводится изучение окостенения хрящей гортани в качестве раннего признака рака гортани при КТ-исследовании [28]. Авторы пришли к выводу о том, что существует возможность установления ложнополо-

ложительных результатов постановки онкологического диагноза при наличии раннего окостенения некоторых хрящей гортани. Поэтому в настоящем исследовании оценка возрастных изменений хрящей гортани проведена на образцах мужского пола без видимой костной и хрящевой патологии, без травм и заболеваний органов шеи, чтобы нивелировать влияние сопутствующих факторов на процесс костеобразования.

По данным литературных источников, темп окостенения у различных хрящей гортани отличается [4, 7, 19, 22]. При сравнительном сопоставлении результатов мы пришли к выводу, что оссификация ПХ и ЩХ начинается почти одновременно в возрастной группе 17-20 лет, однако интенсивность костеобразования в ЩХ более выражена по сравнению с ПХ в молодом возрасте [8, 9]. В большинстве изученных объектов ЧХ окостенение начинается ближе к возрасту 20 лет и прогрессирует более медленными темпами. В возрасте 21-35 лет окостенение ЩХ опережает динамику окостенения ПХ, который в свою очередь опережает скорость костеобразования в ЧХ. В возрастной группе 36-60 лет ПХ оказывается наиболее окостеневшим в сравнении с ЩХ, наименьшее окостенение наблюдается так же в ЧХ. В возрасте 61-75 лет динамика окостенения в ЩХ снова опережает изменения и в ПХ, и в ЧХ. В самой старшей возрастной группе 75 лет максимальное окостенение наблюдается у ЩХ, затем в ПХ и наименьший процент костной ткани наблюдается в ЧХ [8, 19]. Исследователи утверждают, что окостенение хрящей гортани начинается в возрасте от 25 до 40 лет в щитовидном хряще, затем в перстневидном и в черпаловидных хрящах [4], что не противоречит полученным данным.

В последнее время появилось множество работ, посвященных совместной работе судебной медицины и лучевой диагностики. Часть из этих работ изучает возрастные изменения по цифровым изображениям различных органов, другое направление исследований – это анализ межпопуляционных

отличий полученных данных. Несколько научных статей посвящено изучению возрастной изменчивости щитовидного и перстневидного хряща с помощью КТ [20, 21, 29, 30], но комплексных данных, позволяющих оценить возрастные изменения всего подъязычно-гортанного комплекса и сделать выводы о точности установления возраста с помощью данного метода, в настоящий момент нет. Также отсутствуют работы, посвященные анализу КТ-изображений ПГТК в Российской популяции, что не позволяет провести сравнение с результатами других аналогичных исследований. Все вышесказанное и является перспективой развития выбранного научного направления.

#### **Заключение.**

Полученные в настоящем исследовании результаты подтвердили эффективность количественной оценки возрастной динамики оссификации хрящей гортани. По современным представлениям основное требование, которое предъявляют эксперты, к методам оценки возраста – это их валидность. Предложенный метод характеризуется хорошей воспроизводимостью и, следовательно, может использоваться для диагностики возрастной группы при производстве судебно-медицинской экспертизы неопознанного трупа, и как экспресс-метод, и в рамках комплексной оценки возраста. Суммация всех имеющихся сведений о возрастных изменениях щитовидного хряща [5, 6], новых данных о распределении костной ткани на рентгенограммах перстневидного и черпаловидных хрящей способствует повышению точности при установлении возраста неопознанного объекта, улучшает доказательную базу экспертизы [12].

#### **Источник финансирования и конфликт интересов.**

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

#### **Список литературы:**

1. Pigolkin Y.I., Zolotenkov D.D., Gridina N.V., Zolotenkova G.V., Sereda A.P. .Histometric symptoms of age-sensitive changes of bone tissue. *Advances in gerontology*. 2018; 8 (4): 320-327 DOI: 10.1134/s2079057018040124
2. Пиголкин Ю.И., Гарсия Корро М.А., Золотенкова Г.В. Возрастные изменения турецкого седла, лобных и клиновидной пазух. *Судебно-медицинская экспертиза*. 2016; 59 (6): 48-53 doi: 10.17116/sudmed201659648-53
3. Юрченко М. А., Золотенкова Г.В., Пиголкин Ю. И., Федюлова М. В. Минеральная плотность костной ткани

- как признак возрастной инволюции костей человека. *Морфология*. 2013; 4 (144): 080-087.
4. Turk L.M., Hogg D.A. Age changes in the human laryngeal cartilages. *Clin Anatomy*. 1993; 6:154-162.
5. Hatelty W, Evison G., Samuel E. The pattern of ossification in the laryngeal cartilages: a radiological study. *Br J Radiol*. 1965; 38: 585-591.
6. Garvin H.M. Ossification of laryngeal structures as indicators of age. *J Forensic Sci*. 2008. 53(5):1023-1027. doi:10.1111/j.1556-4029.2008.00793.x

7. Ajmani ML, Jain SP, Saxena SK. A metrical study of laryngeal cartilages and their ossification. *Anat Anz.* 1980; 148 (1): 42-48.
8. Пиголкин Ю.И., Полетаева М.П., Золотенкова Г.В. Использование лучевой диагностики для определения биологического возраста человека по морфометрическим параметрам щитовидного хряща. *Российский электронный журнал лучевой диагностики.* 2017; 7 (4): 23-29. DOI:10.21569/2222-7415-2017-7-4-23-29
9. Золотенкова Г.В., Шигеев С.В., Полетаева М.П., Гульгельдиев Г.Г. Возможности установления пола по антропометрическим параметрам перстневидного хряща человека. *Судебно-медицинская экспертиза.* 2021; 64 (1): 24-28. DOI: 10.17116/sudmed20216401124
10. Мальха В.А., Эделев Н.С., Тучик Е.С. Судебно-медицинские критерии определения возраста по щитовидному хрящу при идентификации личности детей *Вестник судебной медицины.* 2019; 8 (1): 19-22.
11. Золотенкова Г.В., Солодовников В.И., Труфанов М.И. Комплексная оценка изменений систем тканей организма при судебно-медицинской диагностике биологического возраста. *Судебная медицина.* 2019; 5 (1s): 166.
12. Гридина Н.В., Золотенкова Г.В., Рогачев А.И. Использование классификаторов для целей судебно-медицинской идентификации личности (диагностики возраста). *Биомедицинская радиоэлектроника.* 2019; 22 (5): 38-44.
13. Золотенкова Г.В., Рогачев А.И., Гридина Н.В., Пиголкин Ю.И. Использование методов машинного обучения для классификации данных при решении задачи судебно-медицинской диагностики возраста. *Сб. трудов конференции Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2020».* 2020; 1:490-498.
14. Pinto D.C. The Laryngo-hyoid Complex in Medicolegal Death Investigations. *Acad Forensic Pathol.* 2016; 6 (3): 486-498. doi:10.23907/2016.049
15. Soerdjbalie-Maikoe V., van Rijn R.R. Embryology, normal anatomy, and imaging techniques of the hyoid and larynx with respect to forensic purposes: a review article. *Forensic Sci Med Pathol.* 2008; 4 (2): 132-139. doi:10.1007/s12024-008-9032-1
16. Andaloro C, La Mantia I. Anatomy, Head and Neck, Larynx Arytenoid Cartilage. In: *StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.* 2020.
17. Калимуллин Р. Р., Звягин В. Н. Методика диагностики пола взрослого человека по анатомо-морфологическим особенностям черпаловидных хрящей. *Судебная медицина.* 2021; 7 (2): 83-87. DOI: <https://doi.org/10.17816/fm392>
18. Звягин В.Н., Галицкая О.И., Калимуллин Р.Р. Судебно-медицинское определение возраста по рентгеноморфометрическим особенностям черпаловидных хрящей гор-  
танного комплекса человека. *Медицинская наука и образование Урала.* 2021; 1: 20-25. DOI: 10.36361/1814-8999-2021-22-1-20-25
19. Зелигман С.Б. Возрастные изменения и половые особенности крупных хрящей гортани человека (рентгено-анатомическое исследование). *Судебно-медицинская экспертиза.* 1959; 2: 6-16.
20. Shin H.W., Ahn Y., Sung M.W., Kim K.H., Kwon T.K. Measurement of cross-sectional dimensions of the cricoid cartilage: a computed tomographic study. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 2009; 118 (4): 253-258. doi:10.1177/000348940911800403
21. Garbelotti Junior S.A., Rocha P.R., Liquidato B.M., Marques S.R., Arráez-Aybar L.A., de Moraes LOC. Arch of cricoid cartilage anatomical variation: morphological and radiological aspects. *Surg Radiol Anat.* 2019; 41 (5): 539-542. doi:10.1007/s00276-018-2174-2
22. Harrison D.F.N. *The Anatomy and Physiology of the Mammalian Larynx.* Cambridge: Cambridge University Press. *Journal of Anatomy.* 1995; 191 (2): 315-317 DOI: 10.1046/j.1469-7580.1997.191203154.x
23. de la Grandmaison G.L., Banasr A., Durigon M. Age estimation using radiographic analysis of laryngeal cartilage. *Am J Forensic Med Pathol.* 2003; 24 (1): 96-9. doi: 10.1097/01.PAF.0000052756.47528.6
24. Pauken CM, Heyes R, Lott DG. Mechanical, Cellular, and Proteomic Properties of Laryngotracheal Cartilage. *Cartilage.* 2019; 10 (3): 321-328. doi: 10.1177/19476035177499
25. Unteregger, F., Thommen, J., Honegger, F., Potthast, S., Zwicky, S., & Storck, C. How Age and Frequency Impact the Thyroid Cartilages of Professional Singers. *Journal of Voice.* 2019; 33 (3): 284-289. doi:10.1016/j.jvoice.2017.11.017
26. Beirith SC, Ikino CM, Pereira IA. Laryngeal involvement in rheumatoid arthritis. // *Braz J Otorhinolaryngol.* 2013; 79 (2): 233-238. doi:10.5935/1808-8694.20130040
27. Gotze M, Andersen RB, Westergaard O, Andersen LA. Rheumatoid arthritis i articulationes crico-arytenoideae [Rheumatoid arthritis in the crico-arythenoid joints]. *Ugeskr Laeger.* 1973; 136 (1): 39-41.
28. Zan E., Yousem D.M., Aygun N. Asymmetric Mineralization of the Arytenoid Cartilages in Patients without Laryngeal Cancer American. *Journal of Neuroradiology.* 2011; 32 (6): 1113-1118; <https://doi.org/10.3174/ajnr.A2444>
29. Jain M., Dhall U.. Morphometry of the thyroid and cricoid cartilages in adults on CT scan. *J Anat Soc India.* 2010; 59 (1): 19-23. DOI: 10.1016/S0003-2778(10)80005-X
30. Aramaki T., Ikeda T., Usui A., Funayama M. Age estimation by ossification of thyroid cartilage of Japanese males using Bayesian analysis of postmortem CT images. *Leg Med (Tokyo).* 2017; 29-35. doi: 10.1016/j.legalmed.2016.12.001

## References:

1. Pigolkin Y.I., Zolotenkova D.D., Gridina N.V., Zolotenkova G.V., Sereda A.P. Histometric symptoms of age-sensitive changes of bone tissue advances in gerontology 2018; 8 (4):320-327 DOI: 10.1134/s2079057018040124
2. Pigolkin Yu.I., Garcia Corro M.A., Zolotenkova G.V. The age-dependent changes of sella turcica, frontal and sphenoid sinuses. *Journal of Forensic Medicine.* 2016; 59 (6): 48-53 doi: 10.17116/sudmed201659648-53 (in Russian).
3. Yurchenko M.A., Zolotenkova G.V., Pigolkin Yu.I., Fedulova M.V. Bone mineral density as a sign of age-related involution

- of human bones. *Morphology*. 2013; 4 (144): 080-087 (in Russian).
4. Turk L.M., Hogg D.A. Age changes in the human laryngeal cartilages. *Clin Anatomy*. 1993; 6: 154-162.
  5. Hatley W., Evison G., Samuel E. The pattern of ossification in the laryngeal cartilages: a radiological study. *Br J Radiol*. 1965; 38: 585-591
  6. Garvin H.M. Ossification of laryngeal structures as indicators of age. *J Forensic Sci*. 2008; 53 (5): 1023-1027. doi:10.1111/j.1556-4029.2008.00793.x
  7. Ajmani M.L., Jain S.P., Saxena S.K. A metrical study of laryngeal cartilages and their ossification. *Anat Anz*. 1980; 148 (1): 42-48.
  8. Pigolkin Yu.I., Poletaeva M.P., Zolotenkova G.V. Age determine by the age of the thyroid cartilage by the radiological method in forensic medicine. *REJR*. 2017; 7 (4):23-29. DOI:10.21569/2222-7415-2017-7-4-23-29 (in Russian).
  9. Pigolkin Yu.I., Poletaeva, M.P., Zolotenkova, G.V. The forensic medical characteristic of the age based on the results of the comprehensive examination of the thyroid cartilage. *Journal of Forensic Medicine*. 2018; 61 (1): 35-38 (in Russian). doi:10.17116/sudmed201861135-38
  10. Malykha V.A., Edelev N.S., Tuchik E.S. Forensic criteria for determining the age of the thyroid cartilage when identifying the personality of children *Bulletin of Forensic Medicine*. 2019; 8 (1): 19-22 (in Russian).
  11. Zolotenkova G.V., Solodovnikov V.I., Trufanov M.I. Comprehensive assessment of changes in body tissue systems in forensic diagnostics of biological age. *Forensic Medicine*. 2019; 5 (1s): 166 (in Russian).
  12. Gridina N.V., Zolotenkova G.V., Rogachev A.I. The use of classifiers for the purposes of forensic medical identification of a person (age diagnosis). *Biomedical radio electronics*. 2019; 22 (5): 38-44 (in Russian).
  13. Zolotenkova G.V., Rogachev A.I., Gridina N.V., Pigolkin Yu.I. Using machine learning methods for data classification in solving the problem of forensic diagnostics of age. *Sat. Proceedings of the Conference Computer and Information Technologies in Science, Engineering and Management "ComTech-2020"*. 2020; 1: 490-498 (in Russian).
  14. Pinto D.C. The Laryngochoyoid Complex in Medicolegal Death Investigations. *Acad Forensic Pathol*. 2016; 6 (3): 486-498. doi:10.23907/2016.049
  15. Soerdjbalie-Maikoe V., van Rijn R.R. Embryology, normal anatomy, and imaging techniques of the hyoid and larynx with respect to forensic purposes: a review article. *Forensic Sci Med Pathol*. 2008; 4 (2): 132-139. doi:10.1007/s12024-008-9032-1
  16. Andaloro C., La Mantia I. Anatomy, Head and Neck, Larynx Arytenoid Cartilage. In: *StatPearls. Treasure Island (FL). StatPearls Publishing*. 2020.
  17. Kalimullin RR, Zvyagin VN. Methods for diagnosing the sex of adult human by anatomical and morphological features of arytenoid cartilages. *Russian Journal of Forensic Medicine*. 2021; 7 (2): 83-87 DOI: <https://doi.org/10.17816/fm392> (in Russian).
  18. Zvyagin V.N., Galitskaya O.I., Kalimullin R.R. Forensic evaluation of age by x-ray morphometric features of the arytenoid cartilage of the human laryngeal complex. *Medicinskaya nauka i obrazovanie Urala*. 2021; 1 (105): 20-25. DOI: 10.36361/1814-8999-2021-22-1-20-25 (in Russian).
  19. Zeligman S.B. Age-related changes and sex characteristics of large cartilages of the human larynx (X-ray anatomical study). *Forensic-medical examination*. 1959: 2:6-16 (in Russian).
  20. Shin H.W., Ahn Y., Sung M.W., Kim K.H., Kwon T.K. Measurement of cross-sectional dimensions of the cricoid cartilage: a computed tomographic study. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 2009; 118 (4): 253-258. doi:10.1177/000348940911800403
  21. Garbelotti Junior S.A., Rocha P.R., Liquidato B.M., Marques S.R., Arráez-Aybar L.A., de Moraes LOC. Arch of cricoid cartilage anatomical variation: morphological and radiological aspects. *Surg Radiol Anat*. 2019; 41 (5): 539-542. doi:10.1007/s00276-018-2174-2
  22. Harrison D.F.N. *The Anatomy and Physiology of the Mammalian Larynx*. Cambridge: Cambridge University Press. *Journal of Anatomy*. 1995; 191 (2): 315-317 DOI: 10.1046/j.1469-7580.1997.191203154.x
  23. de la Grandmaison G.L., Banasr A., Durigon M. Age estimation using radiographic analysis of laryngeal cartilage. *Am J Forensic Med Pathol*. 2003; 24 (1): 96-9. doi: 10.1097/01.PAF.0000052756.47528.6
  24. Pauken CM, Heyes R, Lott DG. Mechanical, Cellular, and Proteomic Properties of Laryngotracheal Cartilage. *Cartilage*. 2019; 10 (3): 321-328. doi: 10.1177/19476035177499
  25. Unteregger, F., Thommen, J., Honegger, F., Potthast, S., Zwicky, S., & Storck, C. How Age and Frequency Impact the Thyroid Cartilages of Professional Singers. *Journal of Voice*. 2019; 33 (3): 284-289. doi:10.1016/j.jvoice.2017.11.017
  26. Beirith SC, Ikino CM, Pereira IA. Laryngeal involvement in rheumatoid arthritis. // *Braz J Otorhinolaryngol*. 2013; 79 (2): 233-238. doi:10.5935/1808-8694.20130040
  27. Gotze M, Andersen RB, Westergaard O, Andersen LA. Rheumatoid arthritis i articulationes crico-arytenoideae [Rheumatoid arthritis in the crico-arythenoid joints]. *Ugeskr Laeger*. 1973; 136 (1): 39-41.
  28. Zan E., Yousem D.M., Aygun N. Asymmetric Mineralization of the Arytenoid Cartilages in Patients without Laryngeal Cancer American. *Journal of Neuroradiology*. 2011; 32 (6): 1113-1118; <https://doi.org/10.3174/ajnr.A2444>
  29. Jain M., Dhall U.. Morphometry of the thyroid and cricoid cartilages in adults on CT scan. *J Anat Soc India*. 2010; 59 (1): 19-23. DOI: 10.1016/S0003-2778(10)80005-X
  30. Aramaki T., Ikeda T., Usui A., Funayama M. Age estimation by ossification of thyroid cartilage of Japanese males using Bayesian analysis of postmortem CT images. *Leg Med (Tokyo)*. 2017: 29-35. doi: 10.1016/j.legmed.2016.12.001.