

ESTIMATION OF AGE FROM DIGITAL CHEST RADIOGRAPHS IN DISTRICT MANDI, HIMACHAL PRADESH

Shama PATYAL, Tejasvi PANDEY

Lovely Professional University, Jalandhar, India

Abstract

In forensic investigations estimation of age is a crucial part. Age estimation assists in narrow down the search possibilities in the case of unidentified bodies and living individuals, it can also help in the determination of preparators and deciding the penalty for any criminal liability. Different body parts are often investigated at the crime scene, so estimating the age using different areas of the body is important. Hence, we conducted this study for age estimation from costal cartilage calcification. Only posterior-anterior (PA) digital chest radiographs are taken, and the first rib of the left side is evaluated. The degree of calcification and age showed a positive correlation; similarly, the value of Spearman's rho showed significant results (for the whole sample $=0.914$, $p < 0.01$ (for male subjects was $=0.925$, $p < 0.01$. For females was $=0.905$, $p < 0.01$). The degree of calcification is useful in estimating age groups and becomes more determined with advancing age. Prediction of age using the radiological method gives the advantages of ease, inexpensiveness, rapidity, and high accuracy. In developing countries, this type of study will be very useful because infrastructure and lack of sources are major issues. The article provides a non-destructive method of age estimation in a forensic context that may act as a preliminary method of age estimation in mass disasters and dismembered bodies when a thoracic cage is only present.

Keywords

Forensic science; Age estimation; Costal calcification; Identification; Radiography; Thorax.

Received 26 September 2022; accepted 18 November 2022

Introduction

Identification means a determination of the individuality of a person. Identification is needed in the case of dead, alive, and skeletal remains. The primary characteristics of identification are age, sex, and stature. Age estimation is essential in clinical and forensic investigation. Methods for age estimation are wide and can be done by sternal rib ends, degenerative changes, cranial sutures, dental records, pelvis, bone histology, ante mortem and post mortem records (Leo, O'Connor, McNulty, 2013). Different body parts may be obtained from a crime scene, so it is important to explore the areas that can be used for age estimation. With an increase in age ossification and calcifications

the changes are observed in a body. Previous studies estimated the age using a cadaveric rib and set baseline values for the identification of unidentified corpses (Lehmann-Leo, Ramsthaler, Birngruber, Verhoff, 2022). In Poland, a study was conducted to estimate the age, and osteon density of the rib is studied, and regression equations were formulated (Bednarek, Bloch-Bogusławska, Engelgardt, Wolska, Śliwka, 2009). Another study based on Polish population published in 2014 studied the variation in cortical bone histology within the human clavicle and showed that osseous tissue changes with age (Sobol et al., 2015). In the case of dismembered remains where a thoracic region is only present, costal cartilage calcification will be useful in estimating age. Costal cartilages are

the bars of hyaline cartilage present anteriorly on the chest and provide flexibility to the rib cage (Patyal, Bhatia, Patyal, 2020). The upper seven pairs are coupled with the sternum, the next lower three are joined with the lower border of the cartilage of the preceding rib, and the last two floating ribs have pointed extremities, which end in the wall of the abdomen. The costal cartilages differ in length, breadth, and direction just like the ribs. Costal cartilage increases in length from the first to the seventh, then steadily decrease to the twelfth. Their breadth also decreases from first to last. They also differ in direction: the first incline a little to the sternum, the second is horizontal, the third rise slightly, and the others are angular in direction. Each costal cartilage has two surfaces, two borders, and two extremities (Drake, Vogl, Mitchell, 2009). The calcification becomes visible on a radiograph. Histological calcification may be seen in the first decade of the line and radiologically after the second decade (Rejtarová, Slízová, Smoranc, Rejtar, Bukac, 2004). A study conducted by McCormick et al. stated that cartilage mineralization is uncommon before the age of twenty but in their study, they found it in the fifteen-year-old subject (McCormick, Stewart, Langford, 1985). Thus, costal cartilage calcification can be observed on chest radiographs. Fischer stated the endocrine's role in calcifying hyaline cartilage (Fischer, 1955). Earlier authors linked calcification of costal cartilage to different diseases (metabolic disorders, endocrine disorders, pulmonary diseases) but King stated that costal cartilage calcification is not associated with any diseases (King, 1939). The formation of a tiny osseous island to complete ossification is observed in the costal cartilage. Fourth costal cartilage shows age and sex-related changes in a study conducted in 2008 (Dedouit et al., 2008). A study claimed that genetic influence is the main cause of costal cartilage calcification and showed similarities in calcification in the case of homozygotic twins (Vastine 2nd, Vastine, Arango, 1948). Age and sex-related changes are observed in costal cartilage calcification but in the case of the first costal cartilage calcification, no changes related to sex were observed in previous studies (Kampen, Ciaassen, Kirsch, 1995; Michelson, 1934). However, a study conducted on Polish population and published in 2015 using CT scans showed that sex can be estimated by measuring different parameters of the first rib and the first rib is dimorphic (Kubicka, Piontek, 2016).

The use of diagnostic imaging in a forensic context is not new; it is widely used for age estimation, sex estimation, location of projectiles, post mortem (Patyal, Tejasvi, 2021). Dental radiographs are also useful in estimating age (Lorkiewicz-Muszyńska et al., 2015).

But very limited studies focused on the estimation of age from chest radiographs. Although radiological studies provide diagnostic information fast and in less time (Drew, Evans, Vö, Jacobson, Wolfe, 2013). In the search database of PubMed with the keywords “age estimation” and “costal cartilage” only eighteen studies were founded (1975–2022) and of which only nine studies were focused on age estimation from costal cartilage. Since limited literature exists, so this study was conducted.

In this article, we will study the calcification of costal cartilage of the first rib of the left side and its correlation with age. Calcification stages were evaluated on basis of age. Spearman's correlation was used to study the relationship between both variables.

Materials and methods

The digital chest radiographs in PA (posterior-anterior) chest position were taken from the Civil Hospital Dharampur, Mandi (Himachal Pradesh), district Mandi is a sub-Himalayan region of India. The radiographs of the patients who visited the hospital in the year 2022 (January to July) were taken for the study. Institutional and ethical permission was taken from the Government Civil Hospital Dharampur and Government Medical College Dr. RKGMC, Himachal Pradesh (No. HFW-H-Dr. RKGMC/Ethics/2022/02). Only radiographs that were reported normal by the radiologist were considered for the study. The patient's consent before taking their digital radiographs was taken and in case the patient's age is less than 18 years, consent of parents/guardians was taken, and the consent and authorization form was prepared both in English and Hindi language. A total of 500 digital radiographs were taken and studied using the software ImageWorks. The digital chest radiographs were divided into age groups 0–20, 21–30, 31–40, 41–50, 51–60, 61–70, 71 and above. For age estimation, we studied the costal cartilage of the first rib of the left side only. The costal cartilage calcification is divided into four stages as used by Michelson (Michelson, 1934). The stages are as follows:

- stage 0 – no beginning of calcification,
- stage 1 – recent beginning of calcification,
- stage 2 – calcification less than 50% of the total,
- stage 3 – calcification of more than 50% or complete calcification.

The subject's position was erect facing the chest stand. The exposure was given based on the build of patients for healthier patients the kilovoltage was increased from 65 KVp to 70 KVp and the value of

milliamperage was also increased from 8 mAs to 12 mAs. The large focal size was selected. All these measurements were done on an X-ray console, a 300Mas Mars X-ray machine was used for taking digital radiographs. All the exposures were given in still inspiration to avoid movement artifacts. All the radiographs of the patients were taken to whom chest X-ray was prescribed by the health practitioner.

The study’s inclusion criteria: normal PA digital chest radiographs will be taken.

The exclusion criteria of the study: Any radiograph with any deformity or disease, or trauma in the thorax will be excluded from the study.

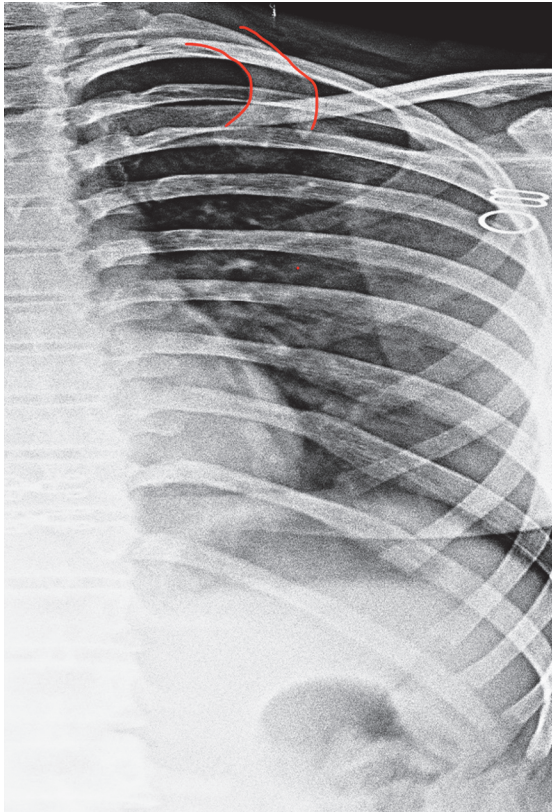
Results

The radiographs within the age range of five years to ninety years old are studied in our study, a total of five hundred radiographs were selected, and radiographs of males and females are equal in number two-hundred fifty. A hundred radiographs were selected in the age group of 0–20 years, sixty radiographs were selected in the age group of 21–30 years, in age groups 31–40, 41–50, 51–60, 61–70 again sixty radiographs were selected in each group. In the last age group, 71 and above hundred radiographs were selected. The mean age ± standard deviation of the whole sample was 46.27 ± 22.66. The median, maximum,

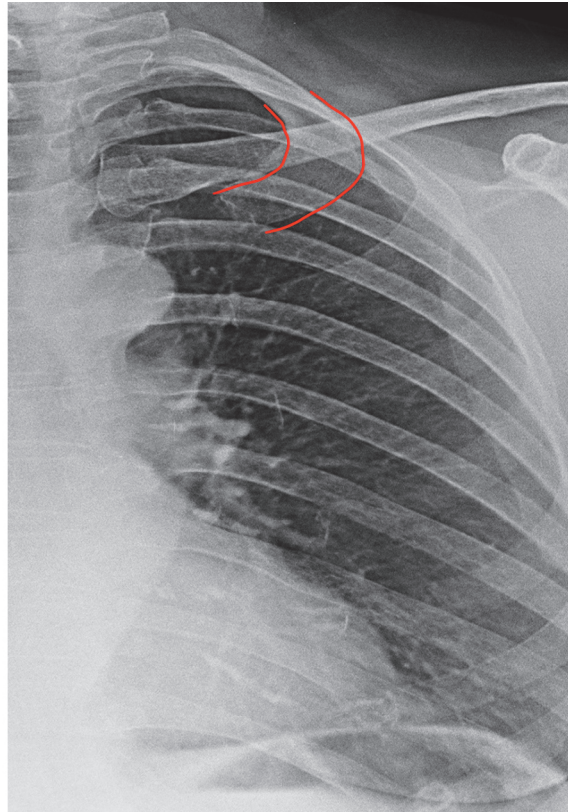
and minimum for the whole sample were 46.5, 90, and 5 respectively. The mean age ± standard deviation for the whole male sample was 45.98 ± 22.95 and for the female sample, it was 46.56 ± 22.35. Males and females were equal in number 250 each. The statistical analysis for male and female samples and different age groups was given in Table 1. All the stages of calcification can be understood easily from the Figure 1. In the first age group (0–20), 39 radiographs were in stage 0 and 61 radiographs were in stage 1; 26 radiographs were in stage 1 and 34 radiographs were in stage 2 in the case of the second age group (21–30). In the age group 31–40, nine radiographs were in stage 1 and 51 radiographs were in stage 2. In the age group 41–50, five radiographs were in stage 1, 41 in stage 2, and 14 radiographs in stage 3. In the age group 51–60, fourteen radiographs were in stage 2, and 46 radiographs were in stage 3. In the age group 61–70, twelve radiographs were in stage 2, and 48 radiographs were in stage 3. In the last age group, 71 and above only 2 radiographs were in stage 2 and 98 radiographs in stage 3 (Figure 2). The mean age with standard deviation for stages 0, 1, 2, and 3 in male subjects was 13.60 ± 2.82, 22.76 ± 6.11, 40.28 ± 10.29, and 69.25 ± 10.15 respectively. For female subjects mean age ± standard deviation in stages 0, 1, 2, and 3 was 13.18 ± 1.19, 21.15 ± 6.20, 40 ± 10.42, and 67.89 ± 11.08 respectively. Statistical analysis of calcification stages for the whole sample was given in Table 2. The correlation

Table 1
Statistical analysis of different age groups in male and female

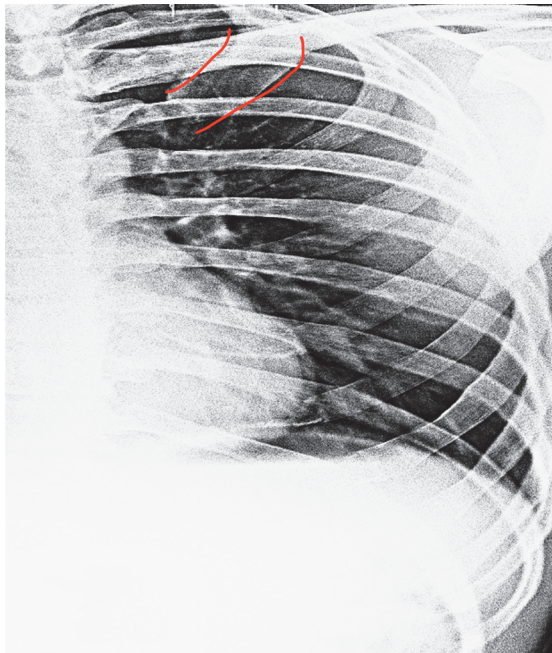
Sample age	Mean	Standard deviation	Minimum	Maximum	Median	Count
Male						
0–21	15.22	3.70	5	20	16	50
21–30	25.60	2.25	21	30	25	30
31–40	35	2.60	31	40	34.5	30
41–50	45.96	2.49	41	50	45.5	30
51–60	55.66	2.46	51	60	56	30
61–70	65.33	2.18	61	70	65	30
71 and above	78.14	4.63	71	90	78	50
Female						
0–21	16.84	2.31	11	20	17	50
21–30	26.13	2.43	21	30	26	30
31–40	35.46	2.86	31	40	35.5	30
41–50	46.7	2.63	42	50	47	30
51–60	56.26	2.39	51	60	56	30
61–70	65.86	2.37	62	70	65.5	30
71 and above	77.7	4.03	71	89	76.5	50



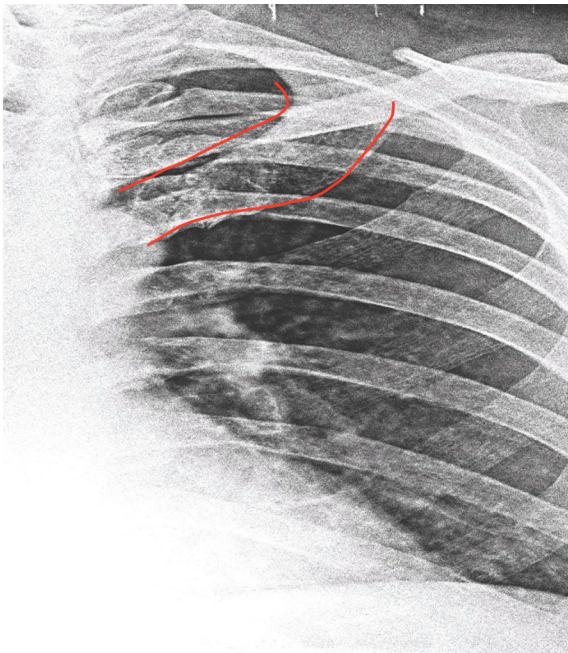
Stage 0



Stage 1



Stage 2



Stage 3

Figure 1. Digital chest radiographs of the left side showing stages of calcification of the first rib.

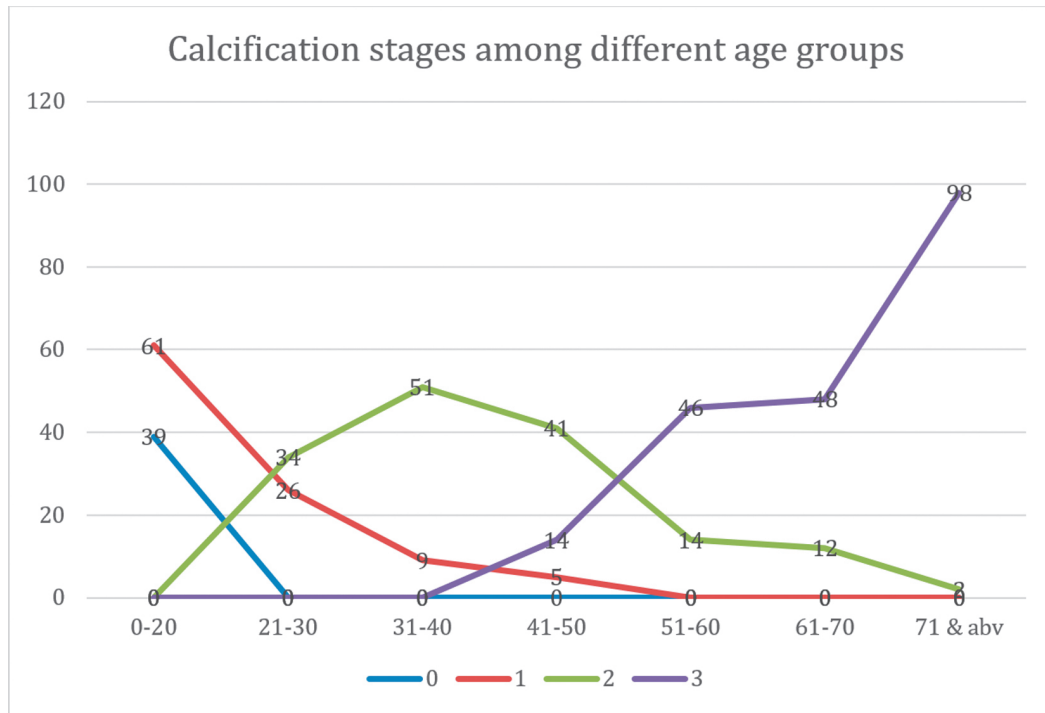


Figure 2. Number of radiographs showing calcification in different age groups.

Table 2
Statistical analysis of calcification stages

Whole sample				
Stages	Stage 0	Stage 1	Stage 2	Stage 3
Average	13.487	21.841	40.292	68.563
Standard deviation	2.479	6.216	10.358	10.663
Minimum	5	15	25	45
Maximum	16	42	71	90
Median	14	19	39	70
Count	39	101	154	206
Male				
Average	13.60	22.76	40.28	69.25
Standard deviation	2.82	6.11	10.29	10.15
Minimum	5	16	25	50
Maximum	16	42	71	90
Median	14.5	20	39	70
Count	28	43	78	101
Female				
Average	13.182	21.155	40.303	67.895
Standard deviation	1.1923	6.2001	10.426	11.089
Minimum	12	15	26	45
Maximum	15	42	64	89
Median	13	19	39	70
Count	11	58	76	105

between the age of the whole sample and stages of calcification was performed by Spearman’s rho analysis and the results showed a positive correlation. The value of Spearman’s rho for the whole sample $\rho = 0.914$, $p < 0.01$ (for male subjects $\rho = 0.925$, $p < 0.01$, for females $\rho = 0.905$, $p < 0.01$). The relationship between stages of calcification and age can be understood by the scatterplot shown in Figure 3.

Discussion

The present study includes chest radiographs of the Indian population of the state of Himachal Pradesh in the age range of five years to ninety years. In this study, we studied digital chest radiographs in a digital format with help of the software ImageWorks which helps in improving the quality of a radiograph. The earlier study stated that calcification in the first rib is early in the lower ribs (Ikeda, 2017). The main reason for calcification in the lower ribs is an expansion of the chest whereas in the first rib production of respiratory stress is the main reason (Ray, Bardhan, Sarkar, 2017). Although lower costal cartilage calcification also shows age-related changes but better studied and visualized in the first rib (Middleham, Boyd, McDonald, 2015). In a study conducted by Michelson, he stated

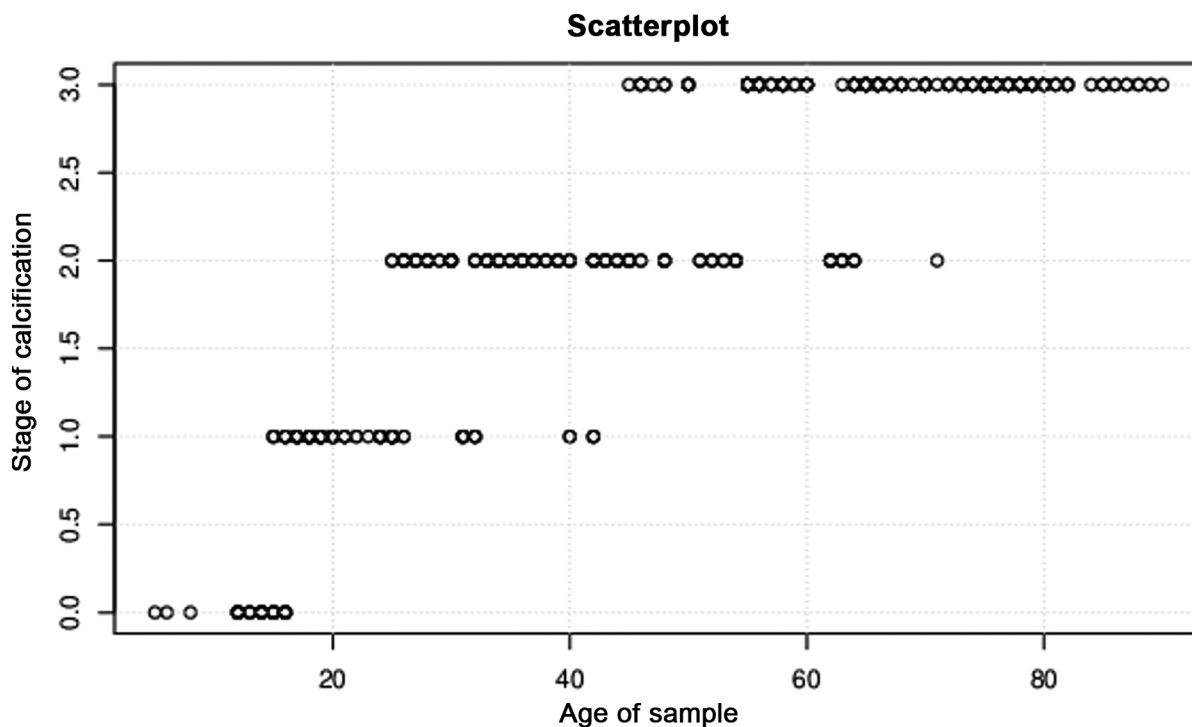


Figure 3. Scatterplot showing association between stages of calcification and age in the whole sample.

that when a subject is in stage 0, the age of the subject will be less than twenty-five years (Michelson, 1934). Another study conducted by Garamendi et al. stated that it will be less than twenty years old (Garamendi, Landa, Botella, Alemán, 2011). The average age obtained for stages 0, 1, 2, and 3 was 18.03, 28.09, 45.74, and 55.56 in Garamendi et al. study. The average age obtained for stages 0, 1, 2, and 3 in our study was 13.48, 21.84, 40.29, and 68.56. In our study for stage 0 minimum and maximum age was 5 and 16 years, for stage 1 it was 15 and 42, for stage 2 it was 25 and 71 and for last stage 3, it was observed as 45 and 90 years. Till the age of forty in our study, no subject had shown stage 3 calcification and no radiograph of the subject in the age group of 71 and above showed calcification stage 0. With an increase in age, the calcification stage also increased, showing a positive correlation between the age of subjects and stages of calcification. The value of Spearman rho indicates a very strong correlation. The median value for stage 0 in a study conducted by Karaman et al. was 5, the population of the study was Turkish (Karaman et al., 2012), and 17.64 in Garamendi et al. study. In our study, the value of the median was 14 for stage 0. The Karaman et al. study had more children in their study as compared to Garamendi et al. study and our study. 700 radiographs were studied by Teale et al. and in their study, they

observed that costal cartilage calcification increased from 6% to 45% from the 3rd decade to the 9th decade (Teale, Romaniuk, Mulley, 1989). Pushpa, Kulkarni and Sheshgiri conducted an age-related study on the south Indian population and observed that grading of calcification increased with age (Pushpa, Kulkarni, Sheshgiri, 2013). A study conducted on the Chinese population for age estimation from costal cartilage also showed an association between adult age and costal cartilage. The choice of modality in their study was CT-Scan (Zhang et al., 2018). The major limitation of our study is the sample size and cross-sectional nature. More study with large sample size is needed for the validation or comparison of the interpretation of our study and its application in a forensic context. As demographic, nutritional, and genetic influences can affect the maturation of the skeleton across different ethnicity so, costal cartilage calcification should be studied in different populations to draw significant results. Age estimation methods for age groups less than twenty years are mostly done with the help of hand and wrist radiographs but for age group forty and above where the bone and skeleton changes are not so projecting in those cases costal cartilage calcification can be used for age estimation. Limited methods of age estimation are available for older people due to large individual differences.

Conclusion

This study is an attempt to examine the correlation between age and costal cartilage calcification. Age estimation with help of costal cartilage is useful when the thoracic region is only available. With advancing age, the stage of calcification also increases and becomes more determined. The role of calcification was studied earlier also but the studies are mostly done on small sample sizes a larger study on different populations is needed before its application in a legal context. While stages of calcification overlap with each other, data obtained from the study indicates an individual's age and will be more useful in advancing age. The use of radiology modalities in age estimation provides the benefits of easiness, greater efficiency, and cost-effectiveness.

Conflicts of interest

The authors declare no conflicts of interest.

References

1. Bednarek, J., Bloch-Bogusławska, E., Engelhardt, P., Wolska, E., Śliwka, K. (2009). Validity of histomorphometric rib assessment for age at death prediction. *Problems of Forensic Sciences*, 80, 403–410.
2. Dedouit, F., Bindel, S., Gainza, D., Blanc, A., Joffre, F., Rougé, D., Telmon, N. (2008). Application of the Iscan method to two- and three-dimensional imaging of the sternal end of the right fourth rib. *Journal of Forensic Sciences*, 53(2), 288–295. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2007.00642.x>.
3. Drake, R., Vogl, A. W., Mitchell, A. W. (2009). *Gray's anatomy for students E-book*. Elsevier Health Sciences.
4. Drew, T., Evans, K., Vö, M. L.-H., Jacobson, F. L., Wolfe, J. M. (2013). Informatics in radiology: What can you see in a single glance and how might this guide visual search in medical images? *RadioGraphics*, 33(1), 263–274. <https://doi.org/10.1148/rg.331125023>.
5. Fischer, E. (1955). Verkalkungsformen der Rippenknorpel. *RöFo – Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*, 82(4), 474–481. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1212570>.
6. Garamendi, P. M., Landa, M. I., Botella, M. C., Alemán, I. (2011). Forensic age estimation on digital X-ray images: Medial epiphyses of the clavicle and first rib ossification in relation to chronological age. *Journal of Forensic Sciences*, 56(suppl. 1), 3–12. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2010.01626.x>.
7. Ikeda, T. (2017). Estimating age at death based on costal cartilage calcification. *Tohoku Journal of Experimental Medicine*, 243(4), 237–246. <https://doi.org/10.1620/tjem.243.237>.
8. Kampen, W. U., Ciaassen, H., Kirsch, T. (1995). Mineralization and osteogenesis in the human first rib cartilage. *Annals of Anatomy – Anatomischer Anzeiger*, 177(2), 171–177. [https://doi.org/10.1016/S0940-9602\(11\)80069-5](https://doi.org/10.1016/S0940-9602(11)80069-5).
9. Karaman, B., Battal, B., Bozkurt, Y., Kantarci, M. N., Gümüş, S., Özcan, M. E., Açıkel, C. H. (2012). Age determination in Turkish people based on the calcification degree of the first costal cartilage. *Türkiye Klinikleri Journal of Medical Sciences*, 32(5), 1361–1367. <https://doi.org/10.5336/medsci.2011-27529>.
10. King, J. B. (1939). Calcification of the costal cartilages. *The British Journal of Radiology*, 12(133), 2–12. <https://doi.org/10.1259/0007-1285-12-133-2>.
11. Kubicka, A. M., Piontek, J. (2016). Sex estimation from measurements of the first rib in a contemporary Polish population. *International Journal of Legal Medicine*, 130(1), 265–272. <https://doi.org/10.1007/s00414-015-1247-6>.
12. Lehmann-Leo, C. D., Ramsthaler, F., Birngruber, C. G., Verhoff, M. A. (2022). Assessment of renal glomerulosclerosis and thickness of the carotid intima-media complex as a means of age estimation in Western European bodies. *International Journal of Legal Medicine*, 136(3), 753–763. <https://doi.org/10.1007/s00414-021-02705-w>.
13. Leo, C., O'Connor, J. E., McNulty, J. P. (2013). Combined radiographic and anthropological approaches to victim identification of partially decomposed or skeletal remains. *Radiography*, 19(4), 353–362. <https://doi.org/10.1016/j.radi.2013.07.008>.
14. Lorkiewicz-Muszyńska, D., Przystańska, A., Kulczyk, T., Hyrchała, A., Bartecki, B., Kociemba, W., Glapiński, M., Łabęcka, M., Świdorski, P. (2015). Application of X-rays to dental age estimation in medico-legal practice. *Archiwum Medycyny Sądowej i Kryminologii*, 1(1), 1–16. <https://doi.org/10.5114/amsik.2015.51602>.
15. McCormick, W. F., Stewart, J. H., Langford, L. A. (1985). Sex determination from chest plate roentgenograms. *American Journal of Physical Anthropology*, 68(2), 173–195. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330680205>.
16. Michelson, N. (1934). The calcification of the first costal cartilage among whites and negroes. *Human Biology*, 6(3), 543.
17. Middleham, H. P., Boyd, L. E., McDonald, S. W. (2015). Sex determination from calcification of costal cartilages in a Scottish sample. *Clinical Anatomy*, 28(7), 888–895. <https://doi.org/10.1002/ca.22491>.
18. Patyal, S., Bhatia, T., Patyal, N. (2020). Sex prediction by costal cartilage using chest radiograph. *Himalayan Journal of Applied Medical Sciences and Research*, 1(2), 30–31.

19. Patyal, S., Tejasvi, B. (2021). Artificial intelligence with radio-diagnostic modalities in forensic science – a systematic review. *CEUR Workshop Proceedings*, 3058.
20. Pushpa, M. S., Kulkarni, R., Sheshgiri, C. (2013). Study of 1st costal cartilage calcification on radiographs in South Indian population as an indicator of age of human-beings. *Research & Reviews: Journal of Medical and Health Sciences*, 2(3), 69–76.
21. Ray, D. K., Bardhan, D. J., Sarkar, D. K. N. (2017). A study of calcification of costal cartilages (1st to 7th) in different age groups and its effect on chest expansion in both male and female. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences*, 16(3), 115–123. <https://doi.org/10.9790/0853-160307115123>.
22. Rejtarová, O., Slízová, D., Smoranc, P., Rejtar, P., Bukac, J. (2004). Costal cartilages – a clue for determination of sex. *Biomedical Papers of the Medical Faculty of the University Palacký, Olomouc, Czechoslovakia*, 148(2), 241–243. <https://doi.org/10.5507/bp.2004.050>.
23. Sobol, J., Ptaszyńska-Sarosiek, I., Charuta, A., Oklota-Horba, M., Zaba, C. Z., Niemcunowicz-Janica, A. (2015). Estimation of age at death: Examination of variation in cortical bone histology within the human clavicle. *Folia Morphologica*, 74(3), 378–388. <https://doi.org/10.5603/FM.2015.0021>.
24. Teale, C., Romaniuk, C., Mulley, G. (1989). Calcification on chest radiographs: The association with age. *Age and Ageing*, 18(5), 333–336.
25. Vastine 2nd, J. H., Vastine, M. F., Arango, O. (1948). Myositis ossificans progressiva in monozygotic twins. *The American Journal of Roentgenology and Radium Therapy*, 59(2), 204–212.
26. Zhang, K., Fan, F., Tu, M., Cui, J., Li, J., Peng, Z., Deng, Z. (2018). The role of multislice computed tomography of the costal cartilage in adult age estimation. *International Journal of Legal Medicine*, 132(3), 791–798. <https://doi.org/10.1007/s00414-017-1646-y>.

Corresponding author

Assoc. Prof. Tejasvi Pandey
Department of Forensic Science
Lovely Professional University
Jalandhar, India
e-mail: tejasvi.25999@lpu.co.in

SZACOWANIE WIEKU NA PODSTAWIE CYFROWYCH ZDJĘĆ RADIOLOGICZNYCH KLATKI PIERSIOWEJ W DYSTRYKCIE MANDI, HIMACHAL PRADESH

Wstęp

Potrzeba identyfikacji, która oznacza ustalenie tożsamości danej osoby, zachodzi zarówno w odniesieniu do osób martwych i żywych, jak i szczątków szkieletowych. Podstawowymi jej elementami są wiek, płeć i postura. Oszacowanie wieku jest niezbędne w badaniach klinicznych i sądowych. Metody szacowania wieku są zróżnicowane: wykorzystywane są w nich końcówki mostkowe żeber, zmiany zwyrodnieniowe, szwy czaszkowe, miednica, dokumentacja stomatologiczna, histologia kości oraz zapisy *ante mortem* i *post mortem* (Leo, O'Connor, McNulty, 2013). Z miejsca zbrodni pozyskiwane są różne szczątki, ważne jest zbadanie części ciała, które mogą być przydatne do oszacowania wieku. Skostnienia i zwapnienia są zmianami obserwowanymi w ciele, pojawiają się one wraz z wiekiem. We wcześniejszych badaniach szacowano wiek, wykorzystując chrząstkę żebrową ze zwłok i wyznaczając w ten sposób wartości bazowe do badań zwłok niezidentyfikowanych (Lehmann-Leo, Ramsthaler, Birngruber, Verhoff, 2022). W Polsce w celu oszacowania wieku przeprowadzono badania gęstości osteonów żebra oraz sformułowano równania regresji (Bednarek, Bloch-Bogusławska, Engelhardt, Wolska, Śliwka, 2009). Inne polskie badanie, opublikowane w 2014 roku, zostało przeprowadzone w celu analizy zmienności histologii kości korowej w obrębie obojczyka; wykazało ono, że tkanka kostna zmienia się wraz z wiekiem (Sobol i in., 2015).

W przypadku rozczłonkowanych szczątków, gdzie występuje tylko odcinek piersiowy, zwapnienia chrząstki żebrowej mogą być przydatne do oszacowania wieku. Chrząstki żebrowe to obecne przednio na kościach klatki piersiowej fragmenty chrząstki hialinowej, zapewniające elastyczność jej szkieletowi (Patyal, Bhatia, Patyal, 2020). Górne siedem par żeber połączonych jest z mostkiem, kolejne dolne trzy łączą się z dolną granicą chrząstki żebra poprzedzającego, a dwa ostatnie żebra wolne mają spiczaste zakończenia, które kończą się w ścianie jamy brzusznej. Chrząstki żebrowe różnią się długością, szerokością i kierunkiem podobnie jak żebra. Zwiększają one swoją długość od pierwszej do siódmej, a następnie systematycznie skracają się do dwunastej. Ich szerokość maleje od pierwszej do ostatniej. Różnią się także kierunkiem, a mianowicie pierwsze z nich pochylone są nieco w stronę mostka, drugie są poziome, trzecie lekko się wznoszą, a pozostałe mają kierunek przekątny. Każda chrząstka żebrowa ma dwie powierzchnie, dwie granice

i dwa końce (Drake, Vogl, Mitchell, 2009). Zwapnienia są widoczne na zdjęciu radiologicznym. Histologicznie zwapnienia mogą być widoczne w pierwszej dekadzie życia, a radiologicznie – po drugiej dekadzie (Rejtarová, Slizová, Smoranc, Rejtar, Bukac, 2004).

W badaniu przeprowadzonym przez McCormicka i współpracowników stwierdzono, że mineralizacja chrząstki jest rzadka przed dwudziestym rokiem życia, jednak autorzy zaobserwowali takie zmiany u piętnastoletniego badanego (McCormick, Stewart, Langford, 1985). Tak więc zwapnienie chrząstki żebrowej może być obserwowane na radiogramach klatki piersiowej. Fischer zaobserwował rolę hormonów w zwapnieniu chrząstki hialinowej (Fischer, 1955). Wcześniejsi autorzy wiązali zwapnienie chrząstki żebrowej z różnymi chorobami (zaburzenia metaboliczne, zaburzenia endokrynologiczne, choroby płuc), ale King stwierdził, że taki związek nie istnieje (King, 1939). W chrząstce żebrowej obserwuje się powstawanie drobnej wyspy kostnej aż do całkowitego skostnienia. Zachodzące w czwartej chrząstce żebrowej zmiany związane z wiekiem i płcią zostały wykazane w badaniu przeprowadzonym w 2008 roku (Dedouit i in., 2008). W jednym z badań stwierdzono, że wpływ genetyczny jest główną przyczyną zwapnienia chrząstki żebrowej, wykazano także podobieństwa w jej zwapnieniu w przypadku bliźniąt jednojajowych (Vastine 2nd, Vastine, Arango, 1948). W zwapnieniach chrząstki żebrowej obserwuje się zmiany związane z wiekiem i płcią, ale we wcześniejszych badaniach (Kampen, Ciaassen, Kirsch, 1995; Michelson, 1934) w przypadku zwapnienia chrząstki pierwszego żebra nie zaobserwowano zmian związanych z płcią. Badanie, w którym wykorzystano tomografię komputerową, przeprowadzone na grupie Polaków i opublikowane w 2015 roku, wykazało jednak, że płeć można ocenić na podstawie pomiaru różnych parametrów pierwszego żebra, które jest dymorficzne (Kubicka, Piontek, 2016).

Zastosowanie diagnostyki obrazowej w kontekście kryminalistycznym nie jest nowe – jest ona szeroko stosowana do szacowania wieku, płci, lokalizacji pocisków oraz *post mortem* (Patyal, Tejasvi, 2021). Radiogramy stomatologiczne są również przydatne w szacowaniu wieku (Lorkiewicz-Muszyńska i in., 2015). Nieliczne badania skupiały się na szacowaniu wieku na podstawie radiogramów klatki piersiowej, mimo że badania radiologiczne dostarczają informacji diagnostycznych szybko i w krótszym czasie (Drew, Evans, Vö, Jacobson, Wolfe, 2013). W bazie wyszukiwania PubMed ze słowami

kluczowymi „age estimation” i „costal cartilage” znaleziono powiązania tylko z osiemnastoma badaniami (1975–2022), z czego tylko dziewięć dotyczyło szacowania wieku na podstawie chrząstki żebrowej. Niniejsze badanie przeprowadzono w odpowiedzi na ograniczoną literaturę w tym zakresie.

W publikowanym tu artykule przeanalizowano zwapnienia chrząstki żebrowej pierwszego żebra po stronie lewej oraz ich korelację z wiekiem. Stadia zwapnienia były oceniane na podstawie wieku. Współczynnik korelacji rang Spearmana wykorzystano do zbadania zależności pomiędzy obiema zmiennymi.

Materiały i metody

Cyfrowe zdjęcia radiologiczne klatki piersiowej w projekcji tylnoprzodniej zostały pobrane z Civil Hospital Dharampur w subhimalajskim dystrykcie Indii Mandi (Himachal Pradesh). Do badania posłużyły radiogramy pacjentów, którzy odwiedzili szpital w roku 2022 (od stycznia do lipca). Badanie odbywało się z instytucjonalnym i etycznym pozwoleniem Government Civil Hospital Dharampur i Dr Radhakrishnan Govt Medical College Hospital, Himachal Pradesh (nr HFW-H-Dr RKGMC/Ethics/2022/02). W badaniu uwzględniono tylko radiogramy ocenione przez radiologa jako prawidłowe. Włączenie do badania cyfrowych zdjęć pacjenta było poprzedzone wyrażeniem przez niego zgody, a w przypadku gdy wiek pacjenta był niższy niż 18 lat, uzyskiwano zgodę rodziców/opiekunów. Formularz zgody i upoważnienia przygotowano zarówno w języku angielskim, jak i hindi. Łącznie wykorzystano 500 cyfrowych radiogramów, które zostały przeanalizowane z użyciem oprogramowania ImageWorks. Cyfrowe radiogramy klatki piersiowej zostały podzielone z uwzględnieniem grup wiekowych na 0–20, 21–30, 31–40, 41–50, 51–60, 61–70, 71 i więcej. Do oceny wieku wykorzystano chrząstkę żebrową pierwszego żebra tylko po stronie lewej. Zwapnienie chrząstki żebrowej podzielono na cztery stadia, które zastosował Michelson (1934). Stadia te są następujące:

- stadium 0 – brak śladów zwapnienia,
- stadium 1 – niedawny początek zwapnienia,
- stadium 2 – zwapnienie mniejsze niż 50%,
- stadium 3 – zwapnienie powyżej 50% lub zwapnienie całkowite.

Pozycja badanego do zdjęcia radiologicznego była wyprostowana, zwrócona w stronę płyty aparatu rentgenowskiego. Ekspozycja była ustalana w oparciu o budowę pacjentów. U zdrowszych pacjentów zwiększano napięcie z 65 kVp do 70 kVp oraz natężenie z 8 mAs do 12 mAs. Wybrano duży rozmiar ogniska. Wszystkie parametry zostały wybrane na konsoli rentgenowskiej, a do wykonania radiogramów cyfrowych użyto aparatu

rentgenowskiego Mars 300Mas. Podczas napromieniania wszyscy pacjenci stali nieruchomo, wstrzymując oddech, aby uniknąć artefaktów ruchowych. Wykonanie wszystkich zdjęć radiologicznych pacjentów zostało zakończone przez lekarza.

Kryterium włączenia zdjęć do badania był prawidłowy cyfrowy radiogram klatki piersiowej w projekcji tylnoprzodniej. Wykluczono z badania każdy radiogram, w którym ujawniło się jakiegokolwiek zniekształcenie, choroba lub uraz w obrębie klatki piersiowej.

Wyniki

W badaniu przeanalizowano 500 radiogramów pacjentów w wieku od 5 do 95 lat. Mężczyźni i kobiety stanowili równe grupy po 250 osób. W grupie wiekowej 0–20 lat wybrano 100 radiogramów, 60 radiogramów wybrano w grupie wiekowej 21–30 lat oraz w każdej z kolejnych grup wiekowych: 31–40, 41–50, 51–60, 61–70. W ostatniej grupie wiekowej – 71 i więcej lat – wybrano 100 radiogramów. Średnia wieku \pm odchylenie standardowe całej próby wynosiła $46,27 \pm 22,66$. Mediana, maksimum i minimum dla całej grupy badanej wynosiły odpowiednio 46,5, 90 i 5. Średnia wieku \pm odchylenie standardowe dla całej grupy mężczyzn wynosiła $45,98 \pm 22,95$, a dla grupy kobiet $46,56 \pm 22,35$. Analizę statystyczną grupy męskiej i żeńskiej oraz poszczególnych grup wiekowych przedstawiono w tabeli 1.

W pierwszej grupie wiekowej (0–20 lat) 39 radiogramów było w stadium 0, a 61 radiogramów w stadium 1. W drugiej grupie wiekowej (21–30 lat) 26 radiogramów było w stadium 1, a 34 radiogramów – w stadium 2. W grupie wiekowej 31–40 lat 9 radiogramów było w stadium 1, a 51 radiogramów było w stadium 2. W grupie wiekowej 41–50 lat 5 radiogramów było w stadium 1, 41 – w stadium 2, a 14 radiogramów – w stadium 3. W grupie wiekowej 51–60 lat 14 radiogramów było w stadium 2, a 46 radiogramów w stadium 3. W grupie wiekowej 61–70 lat 12 radiogramów było w stadium 2, a 48 radiogramów – w stadium 3. W ostatniej grupie wiekowej 71 lat i więcej tylko 2 radiogramy były w stadium 2, a 98 radiogramów – w stadium 3 (ryc. 2). Średnia wieku z odchyleniem standardowym dla stadiów 0, 1, 2 i 3 u mężczyzn wynosiła odpowiednio $13,60 \pm 2,82$, $22,76 \pm 6,11$, $40,28 \pm 10,29$ i $69,25 \pm 10,15$. U kobiet średnia wieku \pm odchylenie standardowe w stadiach 0, 1, 2 i 3 wynosiła odpowiednio $13,18 \pm 1,19$, $21,15 \pm 6,20$, $40 \pm 10,42$ i $67,89 \pm 11,08$. Analizę statystyczną stadiów zwapnienia dla całej grupy badanej przedstawiono w tabeli 2.

Analizę korelacji pomiędzy wiekiem grupy badanej a stadiami zwapnień przeprowadzono za pomocą współczynnika korelacji rang Spearmana, a wyniki wykazały dodatnią korelację. Wartość współczynnika

korelacji rang Spearmana dla całej grupy badanej wynosił $\rho = 0,914$, $p < 0,01$ (dla mężczyzn $\rho = 0,925$, $p < 0,01$, dla kobiet $\rho = 0,905$, $p < 0,01$). Zależność między stadiami zwapnienia a wiekiem można zrozumieć na podstawie wykresu punktowego przedstawionego na rycinie 3.

Dyskusja

Opisane tu badanie obejmowało radiogramy klatki piersiowej osób z hinduskiej populacji stanu Himachal Pradesh w wieku od 5 do 95 lat. Używając oprogramowania ImageWorks, które pomaga w poprawie jakości radiogramu, analizie poddano radiogramy klatki piersiowej w formacie cyfrowym. Wcześniejsze badania wykazywały, że zwapnienie w pierwszym żebrze następuje wcześniej niż w przypadku pozostałych (Ikeda, 2017). Główną przyczyną zwapnień w dolnych żebrach jest rozszerzenie klatki piersiowej, natomiast w pierwszym żebrze przyczynia się do nich stres tkanki związane z oddychaniem (Ray, Bardhan, Sarkar, 2017). Mimo że chrząstki dolnych żeber również wykazują zmiany zwapnieniowe związane z wiekiem, zmiany te są lepiej zbadane i zauważalne w pierwszym żebrze (Middleham, Boyd, McDonald, 2015).

W badaniach opisanych przez Michelsona stwierdza on, że gdy badany znajduje się w stadium 0, jego wiek nie może przekraczać dwudziestu pięciu lat (Michelson, 1934). Z innych badań wynika, że stadium 0 wskazuje na wiek poniżej dwudziestu lat (Garamendi, Landa, Botella, Alemán, 2011). Średni wiek uzyskany dla stadiów 0, 1, 2 i 3 wynosił w badaniu Garamendiego i współpracowników odpowiednio 18,03, 28,09, 45,74 i 55,56.

Średnia wieku uzyskana dla stadiów 0, 1, 2, i 3 w opisanym w niniejszej pracy badaniu wynosiła odpowiednio 13,48, 21,84, 40,29, i 68,56. Dla stadium 0 minimalny i maksymalny wiek wynosił odpowiednio 5 i 16 lat, dla stadium 1 było to 15 i 42, dla stadium 2 było to 25 i 71, a dla ostatniego stadium – 45 i 90 lat. Nie stwierdzono zwapnień w stadium 3 u żadnego z badanych w wieku poniżej 40 lat, a na żadnym zdjęciu radiologicznym w grupie wiekowej 71 lat i więcej nie stwierdzono stadium 0. Wraz z wiekiem rosło również stadium zwapnienia, co wskazuje na pozytywną korelację między wiekiem badanych a stadium zwapnień. Wartość współczynnika korelacji rang Spearmana wskazuje na bardzo silną korelację. Wartość mediany dla stadium 0 w badaniach przeprowadzonych na grupie tureckiej przez Karamana i współpracowników wynosiła 5 (2012), a w badaniach Garamendiego i współpracowników – 17,64. W badaniu autorów niniejszej pracy wartość mediany wynosiła 14 dla stadium 0. W badaniach Karamana i współpracowników uczestniczyło więcej dzieci w porównaniu z badaniem Garamendiego i współpracowników oraz z badaniem opisywanym w niniejszym artykule. Teale

i współpracownicy po przeanalizowaniu 700 radiogramów zaobserwowali, że zwapnienie chrząstki żebrowej wzrosło z 6% do 45% w okresie od trzeciej do dziewiątej dekady życia (Teale, Romaniuk, Mulley, 1989). Pushpa i współpracownicy w wyniku badań związanych z wiekiem na populacji południowohinduskiej stwierdzili, że stadium zwapnień wzrasta z wiekiem (Pushpa, Kulkarni, Sheshgiri, 2013). Badania mające na celu oszacowanie wieku na podstawie chrząstki żebrowej, prowadzone na grupie chińskiej, również wykazało związek między wiekiem dorosłych a stopniem zwapnienia chrząstki żebrowej. Chińczycy do swych badań wykorzystywali tomografię komputerową (Zhang i in., 2018). Głównym ograniczeniem opisanych w niniejszym artykule badań jest wielkość grupy badanej oraz przekrojowy charakter. Zachodzi zatem potrzeba zwiększenia ich liczby – z większą liczebnością grupy badanej – w celu walidacji lub porównania interpretacji opisanych tutaj badań i ich zastosowania w kontekście kryminalistycznym. Biorąc pod uwagę wpływy demograficzne, żywieniowe i genetyczne na dojrzewanie szkieletu w różnych grupach etnicznych, dla uzyskania znaczących wniosków konieczne byłoby badanie zwapnienia chrząstki żebrowej na różnych populacjach. Metody szacowania wieku dla grup wiekowych poniżej dwudziestu lat są najczęściej stosowane z użyciem zdjęć radiologicznych dłoni i nadgarstka, ale dla grup starszych, powyżej czterdziestu lat, gdzie zmiany kostne i szkieletowe nie są tak widoczne, do szacowania wieku może posłużyć badanie zwapnienia chrząstki żebrowej. W przypadku osób starszych, ze względu na duże różnice indywidualne, dostępna jest ograniczona liczba metod szacowania wieku.

Wnioski

Niniejsza praca jest próbą zbadania korelacji pomiędzy wiekiem a zwapnieniem chrząstki żebrowej. Ocena wieku za pomocą chrząstki żebrowej jest przydatna, gdy dostępna jest tylko okolica piersiowa. Wraz z wiekiem postępuje proces zwapnienia, a jego stadia są łatwiejsze w klasyfikacji. Rola zwapnień podlegała wcześniejszym badaniom, ale były one przeważnie przeprowadzane na małych grupach badanych, dlatego przed zastosowaniem tej metody w kontekście prawnym konieczne byłoby przeprowadzenie szerszych badań na różnych populacjach. Chociaż stadia zwapnienia pokrywają się ze sobą, dane uzyskane i opisane w niniejszej pracy określają wiek jednostki, będą zatem bardziej przydatne szczególnie w przypadkach osób w zaawansowanym wieku. Zastosowanie metod radiologicznych w szacowaniu wieku daje korzyści w postaci łatwości, większej skuteczności i opłacalności.

Konflikt interesów

Autorzy nie zgłaszają konfliktu interesów.