



Praca oryginalna
Original paper

Pratik S. Gilbe¹, Soniya B. Parchake², Nilesh K. Tumram¹, Pradeep G. Dixit¹

Szacowanie wzrostu na podstawie wielkości otworu potylicznego wielkiego w populacji osób dorosłych – badanie wstępne

Estimation of height from the foramen magnum in the adult population – a preliminary study

¹Department of Forensic Medicine and Toxicology, Indira Gandhi Government Medical College, Nagpur, Maharashtra, India

²Department of Anatomy, Government Medical College, Nagpur, Maharashtra, India

Streszczenie

Ocena wzrostu jest jednym z ważnych wczesnych etapów analizy kryminalistycznej pozostałości ludzkiego szkieletu. Celem badania było uzyskanie wzoru regresji liniowej do szacowania wzrostu na podstawie pomiarów otworu potylicznego wielkiego w populacji środkowych Indii. Badaniami objęto 81 męskich i 55 żeńskich zwłok przywiezionych w celu wykonania sekcji zwłok. Równania regresji liniowej wyprowadzono z długości (FML), szerokości (FMB) i powierzchni (FMA) otworu potylicznego wielkiego. Model regresji przewidywał 95% przedział ufności $\pm 11,1$ cm, $\pm 10,4$ i $\pm 10,5$ cm oraz współczynnik korelacji wynoszący odpowiednio 0,69, 0,75 i 0,74 dla długości, szerokości i powierzchni otworu potylicznego wielkiego u mężczyzn. Podobnie, model regresji przewidywał 95% przedział ufności $\pm 13,4$ cm, $\pm 11,4$ cm i $\pm 12,8$ cm oraz współczynnik korelacji 0,45, 0,68 i 0,57 dla długości, szerokości i powierzchni otworu potylicznego wielkiego u kobiet. Wzory regresji oparte na pomiarach otworu wielkiego są związane z nieco większym błędem standardowym niż te oparte na długościach kości długich. Z przeprowadzonych badań wynika, że pomiary otworu potylicznego wielkiego w zależności od wzrostu ciała wykazują silną dodatnią korelację, stosunkowo umiarkowaną wiarygodność szacowania wzrostu oraz mają pewną wartość kryminalistyczną.

Słowa kluczowe: antropologia kryminalistyczna, wzrost, otwór potyliczny wielki, zwłoki, populacja osób dorosłych, Indie.

Abstract

Stature estimation is an important early step during forensic analysis of human skeletal remnants. The aim of the present study was to obtain a linear regression formula for estimating stature from foramen magnum measurements of a central Indian population. The study includes 81 male and 55 female cadavers brought for medicolegal autopsies. The linear regression equations were derived from length (FML), breadth (FMB) and area (FMA) of foramen magnum. The regression model provided a 95% confidence interval of ± 11.1 cm, ± 10.4 , and ± 10.5 cm and a correlation coefficient of 0.69, 0.75, and 0.74 for length, breadth, and area of male foramen magnum, respectively. Similarly, the regression model provided a 95% confidence interval of ± 13.4 cm, ± 11.4 cm, and ± 12.8 cm and a correlation coefficient of 0.45, 0.68, and 0.57 for length, breadth, and area of female foramen magnum. Compared to other studies, regression formulae based on the measurements of the foramen magnum provided slightly larger standard errors than that based on long bone lengths. The study indicates that foramen magnum measurements in relation with body stature show strong positive correlation, relatively moderate reliability in estimating stature, and some forensic value.

Key words: forensic anthropology, height, foramen magnum, cadaver, adult population, India.

Wstęp

Ustalenie tożsamości szczątków szkieletowych ma znaczną wartość kryminalistyczną. Wzrost stanowi jeden z kluczowych aspektów identyfikacji osoby, a jego określenie jest jednym z ważnych wstępnych kroków podczas kryminalistycznych badań szczątków kostnych [1, 2]. Do określania wzrostu stosuje się różnorodne metody pomiarów antropometrycznych szkieletu [2–14]. Takie określenie opiera się na zależnościach między komponentem kostnym a wzrostem [15]. Opracowuje się metody matematyczne i anatomiczne do oceny wzrostu nie tylko osób żywych, lecz także zwłok. Metody matematyczne uwzględniają formułowanie różnych równań z pomiarów kości. Metody anatomiczne polegają na sumowaniu wszystkich pomiarów kości długich w celu oszacowania wzrostu. W zasadzie ustalono, że wzrost ma bezpośredni związek z długością kości [16, 17]. W celu oszacowania wzrostu na podstawie długości kości wyprowadza się równania regresji liniowej.

Kości długie są powszechnie wykorzystywane do oceny wzrostu. W niektórych sytuacjach, takich jak klęska żywiołowa, wybuch bomby lub inne przypadkowe lub przestępcze działania, w których dochodzi do masowych wypadków obejmujących rozczłonkowanie ofiary, kości długie mogą być jednak niedostępne lub niekompletne. Podobnie, wiele elementów twarzoczaszki ulega zniszczeniu w wyniku wypadków lotniczych, katastrof masowych, pożarów czy urazów wynikających z przemocy, co utrudnia identyfikację. W takich przypadkach podstawa czaszki jest dobrze chroniona przez większą ilość tkanki miękkiej, co może pomóc w identyfikacji i przyszłej ocenie antropologicznej, takiej jak określenie wzrostu i płci. W takim scenariuszu istnieje potrzeba alternatywnego sposobu szacowania wzrostu [18, 19]. Niedawno wzięto pod uwagę szacowanie wzrostu na podstawie pomiarów otworu potylicznego wielkiego. Przeprowadzono bardzo niewiele badań na ten temat [20–23]. Większość z nich dotyczyła oceny wzrostu z suchego i zmacerowanego otworu wielkiego. Jeśli jednak wymagane jest szybkie oszacowanie i nie można przeprowadzić maceracji, do oszacowania wzrostu można zastosować pomiary świeżego otworu wielkiego [23].

Celem badań było znalezienie związku pomiędzy pomiarami otworu wielkiego a wzrostem, co może być przydatne w ocenie wzrostu okaleczonych szczątków ludzkich.

Introduction

Establishment of the identity of skeletal remains bears significant forensic value. Stature offers one of the key facets of an individual's identification, and its determination is one of the important initial steps during forensic investigation of skeletal remains [1, 2]. A variety of means of anthropometric measurements of the skeleton are used in determining stature [2–14]. Such determination is built on the relations between skeletal components and stature [15]. Various mathematical and anatomical methods have been developed to estimate stature not only in the living but also in cadavers. The mathematical methods take into account the formulation of different equations from bony measurements. The anatomical methods deal with the summation of all the measurement of the long bones to estimate stature. It is by and large an established fact that stature has a direct relation to the length of different bones [16, 17]. Different linear regression equations have been derived to estimate stature from the length of bones.

The long bones are extensively used for stature estimation. However, in some situations like natural calamity, bomb blast, or any other accidental or criminal activities where mass casualties occur involving dismemberment of the victim, the long bones may not be available or complete. Similarly, many craniofacial elements are damaged after air accidents, mass disasters, fire explosion, or injuries resulting from violence, making identification difficult. In such cases, the skull base is well protected by a larger amount of soft tissue, which can aid in identification and future anthropological assessments such as stature and sex determination. In such a scenario, there is a need for an alternative means of stature estimation [18, 19]. Stature estimation from foramen magnum measurements has received recent consideration. Very few studies have been performed for stature estimation from the foramen magnum [20–23]. Most of these studies have focused on stature estimation from dry and macerated foramen magnum. However, when a quick estimate is required and maceration cannot be carried out, fresh foramen magnum measurements can be used for stature estimation [23].

The goal of the present study was to find a relationship between the measurements of foramen magnum and stature, which can be useful in stature estimation of mutilated human remains.

Materiał i metody

Miejsce i populacja

Badanie przeprowadzono na Wydziale Medycyny Sądowej Rządowego Kolegium Medycznego w Nagpur w środkowych Indiach. Pomiaru długości zwłok i otworu potylicznego wielkiego dokonano na ciałach 81 mężczyzn i 55 kobiet. Informacje o wieku uzyskano z dokumentów śledczych policji i potwierdzono u spadkobierców zmarłych. Z badania wykluczono ciała rozłożone, zwęglone, okaleczone oraz wykazujące fizyczne anomalie.

Metodologia

Długość zwłok mierzono w pozycji leżącej, między wierzchołkiem głowy a piętą, za pomocą stalowej taśmy mierniczej z dokładnością do 0,1 cm [20, 24]. W tym celu zastosowano współczynnik korekcji 2,5 cm, za Trotter i Gleser, jako miary wzrostu żywej osoby w pozycji stojącej [24]. Ciała układano na płaskim stole do autopsji o twardej powierzchni, z wyprostowanymi kolanami i stawami biodrowymi, a szyją i stopami w pozycji neutralnej.

Z badania wyłączono czaszki ze złamaniami. Długość (FML – średnica przednio-tylna), szerokość (FMB – średnica poprzeczna) i powierzchnię otworu wielkiego (FMA) mierzono za pomocą wewnętrznej suwmiarki. Średnica przednio-tylna to bezpośrednia odległość od *basion* do *opisthion*, a średnica poprzeczna to odległość między bocznymi krawędziami otworu wielkiego w punkcie największej bocznej krzywizny. Wymiary te mierzono po usunięciu mózgu i opony twardej przylegającej do podstawy czaszki. Nie przeprowadzono dalszej maceracji (ryc. 1).

Głównym problemem związanym z pomiarem był ten, że końcówki suwmiarki musiały dotykać samej kości, a nie tkanki miękkiej. Uzyskano to poprzez usunięcie jak największej ilości tkanki miękkiej i odsłonięcie powierzchni kości. Po wykonaniu niezbędnych pomiarów kości czaszki nie były konserwowane poza zakresem sekcji zwłok.

Analiza danych

Dane przeanalizowano przy użyciu pakietu do analizy statystycznej SPSS w wersji 17.025 w celu uzyskania równania regresji liniowej do oceny wzrostu

Material and methods

Setting and population

The present study was conducted in the Department of Forensic Medicine, Government Medical College, Nagpur, Central India. Cadaver and foramen magnum measurements were obtained from 81 male and 55 female cases. The age of the individuals was recovered from the inquest documents of the police and confirmed from the lawful heirs of the deceased. Decomposed, charred, or mutilated bodies and bodies having physical anomalies were excluded from the study.

Methodology

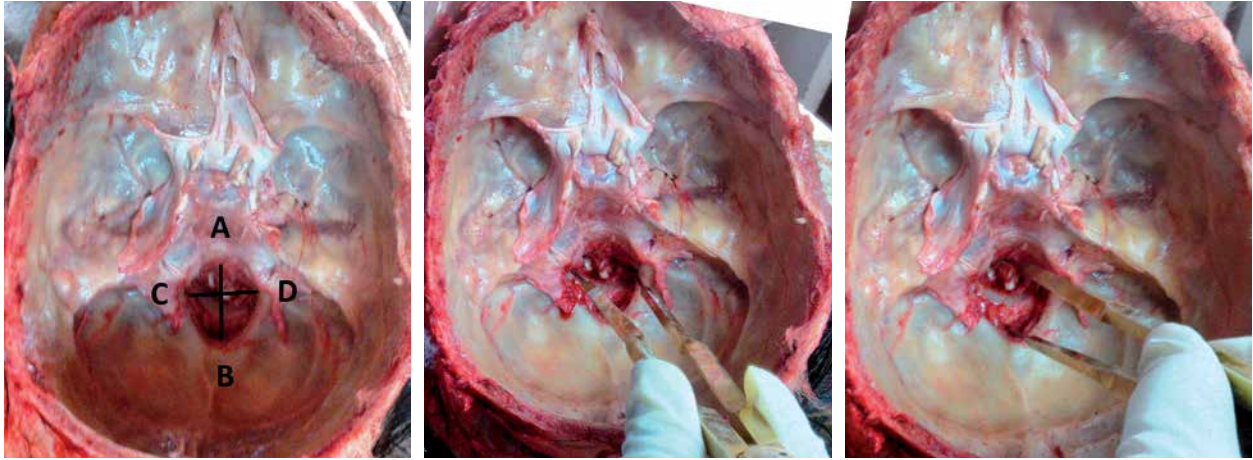
The cadaveric length was measured in the supine position between the vertex of the head and the heel with a steel measuring tape to the nearest 0.1 cm [20, 24]. To this a correction factor of 2.5 cm was applied as illustrated by Trotter and Gleser as a measure of living standing height [24]. The body was kept in a supine position on a flat, hard-surfaced autopsy table with the knee and hip joint extended, and the neck and feet in a neutral position.

Skulls with fractures were excluded from the study. The length of the foramen magnum (FML – anteroposterior diameter), breadth of the foramen magnum (FMB – transverse diameter), and area of the foramen magnum (FMA) were measured using an inside calliper. The anteroposterior diameter is the direct distance from *Basion* to *Opisthion*, and the transverse diameter is the distance between the lateral margins of the foramen magnum at the point of greatest lateral curvature. These dimensions were measured after extracting the brain and stripping the dura adherent to the base of the skull. No further maceration was performed (Fig. 1).

The main concern with this measurement was to ensure that the end points of the callipers were touching the bone itself without interference of soft tissue, by removing as much soft tissue as possible and exposing the bony surface. The skull bone after necessary measurements was not preserved beyond autopsy.

Data analysis

The data were analysed using the statistical analysis package of SPSS version 17.0 [25] to derive a linear regression equation for stature estimation



Ryc. 1. Pomiar wielkości otworu potylicznego wielkiego za pomocą wewnętrznej suwmiarki. AB – długość otworu (średnica przednio-tylna – FML). CD – szerokość otworu (średnica poprzeczna – FMB)

Fig. 1. Measurement of foramen magnum by using an inside caliper. AB – length of foramen magnum (FML – antero-posterior diameter). CD – breadth of foramen magnum (FMB – transverse diameter)

mężczyzn i kobiet na podstawie długości, szerokości i powierzchni otworu potylicznego wielkiego. Do analizy regresji jako zmienną zależną przyjęto długość ciała (wzrost), podczas gdy zmienną niezależną były różne pomiary otworu potylicznego wielkiego, tj. długość (FML), szerokość (FMB) i powierzchnia (FMA). Obliczono błąd standardowy oszacowania i 95% przedział ufności dla regresji. Autorzy chcieli ocenić, czy długość zwłok mieści się w 95% przedziale ufności szacowanego wzrostu, a nie porównywać długość zwłok i ocenę punktową wzrostu.

Oszacowano błąd między obserwatorami, aby sprawdzić wiarygodność danych, poprzez zmierzenie otworu potylicznego wielkiego przez dwóch różnych badaczy. Błąd pojedynczego obserwatora nie został oceniony, ponieważ czaszka nie została zachowana po sekcji zwłok. Błąd między obserwatorami oszacowano poprzez obliczenie współczynnika korelacji wewnątrzklasowej.

Wyniki

W celu oceny wzrostu na podstawie pomiarów otworu potylicznego wielkiego przebadano łącznie 81 mężczyzn i 55 kobiet z różnych grup wiekowych (tab. I). Po pogrupowaniu według dziesięcioleci większość przypadków dotyczyła trzeciej dekady życia.

Jak przedstawiono w tabeli II, u mężczyzn długość zwłok wahała się od 145 cm do 180 cm, średnio 163,9 (7,8) cm. Średnia długość otworu wielkiego

from the length, breadth, and area of male and female foramen magnum. For regression analysis, the dependent variable was taken as the body length (stature) while the independent variable was different foramen magnum measurements, i.e length (FML), breadth (FMB), and area (FMA). The standard error of estimate and 95% confidence interval for regression was computed. Here we would like to evaluate if the cadaver length is incorporated in the 95% confidence interval of estimated stature rather than comparing the cadaver length and point stature estimate.

Interobserver error was estimated in order to test the reliability of the data by measurement of the foramen magnum by two different researchers. Intra observer error was not assessed because the skull was not preserved after autopsy. Interobserver error was estimated by calculating the intra-class correlation coefficient.

Results

From different age groups a total of 81 males and 55 females were studied for estimation of stature by foramen magnum measurements (Table I). When grouped by decade, most cases were in the third decade of life.

As shown in Table II, in males the cadaver length ranged from 145 cm to 180 cm, with a mean of 163.9 (7.8) cm. The mean foramen magnum length was

Tabela I. Rozkład wieku i płci badanych zwłok
Table I. Age and sexwise distribution of cases

Grupa wiekowa (lata) Age group (years)	Mężczyźni/ Males (n = 81)	Średnia/Mean	SD	Kobiety/ Females (n = 55)	Średnia/Mean	SD
21–30	22	24.8	± 3.3	24	24.2	3.6
31–40	20	36.5	± 2.8	20	35.7	2.4
41–50	17	46.7	± 2.5	4	46	4.6
51–60	12	55.0	± 2.8	4	53	2.3
61–70	10	72.2	± 8.9	3	65	0

Tabela II. Opisowe dane statystyczne pomiarów otworu potylicznego wielkiego w zależności od wzrostu ciała
Table II. Descriptive statistical data of foramen magnum measurements in relation to body stature

Grupa/ Group	Otwór potyliczny wielki/ Foramen magnum	Zakres/Range (cm)	Średnia/Mean (cm)	SD (±cm)
Mężczyźni	Długość/Length (FML)	1.9–3.8	3.1	0.4
	Szerokość/Breadth (FMB)	2.3–3.5	2.9	0.3
	Powierzchnia/Area (FMA)	4.8–13.3	9.1	2.1
	Długość zwłok/Cadaveric length	145–180	163.9	7.8
Kobiety	Długość/Length (FML)	1.5–3.3	2.7	0.5
	Szerokość/Breadth (FMB)	2.1–3.1	2.6	0.3
	Powierzchnia/Area (FMA)	3.2–10.2	7.1	1.8
	Długość zwłok/Cadaveric length	138–160	149.2	7.7

wynosiła 3,1 (0,4) cm, w zakresie od 1,9 cm do 3,8 cm, szerokość 2,9 (0,3) cm, w zakresie od 2,3 cm do 3,5 (0,4) cm, powierzchnia 9,1 (2,1) cm w zakresie od 1,9 cm do 3,8 cm. U kobiet długość zwłok wahała się od 138 cm do 160 cm, średnio 149,2 (7,7) cm. Średnia długość otworu wielkiego wynosiła 2,7 (0,5) cm, od 1,5 cm do 3,3 cm, szerokość 2,6 (0,3) cm, od 2,1 cm do 3,1 (0,4) cm, powierzchnia 7,1 (1,8) cm, w zakresie od 3,2 cm do 10,2 cm.

Uzyskano prosty wzór regresji do oszacowania wzrostu na podstawie pomiarów otworu wielkiego (tab. III). Stwierdzono silną dodatnią korelację między długością, szerokością i powierzchnią otworu wielkiego a długością zwłok u mężczyzn, podczas gdy u kobiet korelacja ta była umiarkowanie dodatnia. Zaobserwowano lepszą korelację między szerokością otworu wielkiego (FMB) a długością zwłok niż między powierzchnią (FMA) lub długością (FML) otworu wielkiego a długością zwłok. Podobnie, lepszą korelację obserwowano między powierzchnią (FMA) a długością zwłok niż długością (FML) otworu wielkiego i długością zwłok. U mężczyzn standardowy błąd oszacowania w badaniu wynosił 5,6 cm dla dłu-

3,1 (0,4) cm, ranging from 1.9 cm to 3.8 cm, breadth was 2.9 (0.3) cm, ranging from 2.3 cm to 3.5 (0.4) cm, and area was 9.1 (2.1) cm ranging from 1.9 cm to 3.8 cm. In females the cadaver length ranged from 138 cm to 160 cm, with a mean of 149.2 (7.7) cm. The mean foramen magnum length was 2.7 (0.5) cm, ranging from 1.5 cm to 3.3 cm, breadth was 2.6 (0.3) cm, ranging from 2.1 cm to 3.1 (0.4) cm, and area was 7.1 (1.8) cm, ranging from 3.2 cm to 10.2 cm.

A simple regression formula was obtained to estimate the stature from the measurements of the foramen magnum (Table III). There was strong positive correlation between length, breadth, and area of foramen magnum and cadaveric length in males while it was moderately positive for females. Better correlation was seen between foramen magnum breadth (FMB) and cadaveric length than with area (FMA) or length (FML) and cadaveric length. Similarly, better correlation was observed between the Area (FMA) and cadaveric length than the Length (FML) and cadaveric length. The standard error of estimate in the study is 5.6 cm for Length (FML),

gości (FML), 5,1 cm dla szerokości (FMB) i 5,2 cm dla powierzchni (FMA) (tab. III). U kobiet standardowy błąd oszacowania w badaniu wynosił 6,9 cm dla długości (FML), 5,6 cm dla szerokości (FMB) i 6,3 cm dla powierzchni (FMA). 95% przedział ufności dla oceny wzrostu za pomocą wielkości otworu potylicznego wielkiego u mężczyzn wynosił $\pm 11,1$ cm w FML, $\pm 10,4$ cm w FMB i $\pm 10,5$ cm w FMA. Podobnie 95% przedział ufności dla oceny wzrostu za pomocą wielkości otworu potylicznego wielkiego u kobiet wynosił $\pm 13,4$ cm w FML, $\pm 11,4$ cm w FMB i $\pm 12,8$ cm w FMA. Współczynnik korelacji wewnątrzklasowej (ICC = 0,99, 95% CI: 0,95–0,99) wskazuje na dobrą korelację między pomiarami dokonywanymi przez dwóch badaczy.

Dyskusja

Ocena wzrostu na podstawie różnych kości, zwłaszcza kości długich, była dokonywana przez wielu badaczy [27–37]. Ostatnio zwrócono uwagę na możliwość oceny wzrostu na podstawie pomiarów otworu potylicznego wielkiego. Większość tych badań dotyczyła oceny wzrostu na podstawie suchej czaszki [22]. Niedawno Cui i wsp. [20] badali otwór wielki pod kątem oceny wzrostu i określenia jego przydatności w praktyce kryminalistycznej. Otwór potyliczny wielki zwykle rośnie szybko w obu wy-

5.1 cm for Breadth (FMB), and 5.2 cm for Area (FMA) in males (Table III). The standard error of estimate in the study is 6.9 cm for Length (FML), 5.6 cm for Breadth (FMB), and 6.3 cm for Area (FMA) in females. The 95% confidence interval for stature estimation by foramen magnum in males is ± 11.1 cm in FML, ± 10.4 cm in FMB, and ± 10.5 cm in FMA. Similarly, the 95% confidence interval for stature estimation by foramen magnum in females is ± 13.4 cm in FML, ± 11.4 cm in FMB, and ± 12.8 cm in FMA. The intra-class correlation coefficient (ICC = 0.99, 95% CI: 0.95–0.99) shows good correlation between the measurements of the two researchers.

Discussion

Stature estimation from various bones, especially the long bones, have been performed by different researchers [27–37]. Stature estimation from foramen magnum measurements has received recent attention. Most of these studies dealt with stature estimation from dry skull [22]. Recently Cui *et al.* [20] studied foramen magnum for stature estimation and to ascertain its applicability in forensic practice. The foramen magnum normally grows rapidly in both dimensions from birth to one year and then continues at a greatly diminished rate up to 15 years.

Tabela III. Podsumowanie uzyskane z analizy regresji
Table III. Summary obtained by regression analysis

Grupa/ Group	Otwór potyliczny wielki/ Foramen magnum	Wzór regresji*/ Regression formulæ	R	R ²	Skorygowany R/ Adjusted R	Błąd standardowy/ Standard error of estimate (cm)	95% przedział ufności/ 95% confidence interval (cm)
Mężczyźni/ Male	Długość/Length (FML)	$Y = 12.884$ $X_1 + 124.67$	0.69	0.48	0.48	5.6	± 11.1
	Szerokość/Breadth (FMB)	$Y = 18.833$ $X_2 + 108.6$	0.75	0.56	0.55	5.1	± 10.4
	Powierzchnia/Area (FMA)	$Y = 2.8069$ $X_3 + 108.6$	0.74	0.56	0.55	5.2	± 10.5
Kobiety/ Female	Długość/Length (FML)	$Y = 7.459$ $X_4 + 129.4$	0.45	0.20	0.18	6.9	± 13.4
	Szerokość/Breadth (FMB)	$Y = 19.809$ $X_5 + 97.286$	0.68	0.47	0.46	5.6	± 11.4
	Powierzchnia/Area (FMA)	$Y = 2.3838$ $X_6 + 132.4$	0.57	0.32	0.31	6.3	± 12.8

*Gdzie Y to wzrost (długość zwłok), a X to pomiar otworu potylicznego wielkiego/Where Y is stature (cadaveric length) and X is foramen magnum measurement.

Tabela IV. Długości zwłok (cm) w różnych badaniach otworu potylicznego wielkiego
Table IV. Cadaveric lengths (cm) in different foramen magnum studies

Źródło i populacja/Source and population	Długość zwłok (±SD)/ Cadaveric length (±SD) (cm)
Babu YPR i wsp. (południowe Indie) [21]/Babu YPR <i>et al.</i> (South Indian) [21]	166.6 (± 8.21)
Cui i wsp. (północne Chiny) [20]/Cui <i>et al.</i> (Northern Chinese) [20]	165.2 (± 7.55)
Cui i wsp. (południowe Chiny) [20]/Cui <i>et al.</i> (Southern Chinese) [20]	161.0 (± 7.08)
Niniejsze badanie – mężczyźni (środkowe Indie)/Present study – males (Central India)	163.9 (± 7.79)
Niniejsze badanie – kobiety (środkowe Indie)/Present study – females (Central India)	149.2 (± 7.67)

miarach od urodzenia do 1. roku, a następnie rozwija się w znacznie wolniejszym tempie do 15. roku życia. Po 15. roku życia wielkość otworu wielkiego nie zmienia się znacząco [38].

W niniejszym badaniu wzrost szacowano na podstawie świeżych czaszek mężczyzn z Indii środkowych. Średni wzrost w tej grupie wynosił 163,9 (7,7) cm i był względnie mniejszy niż w innych badaniach populacji indyjskiej i chińskiej (tab. IV).

W prezentowanym badaniu pomiary otworu potylicznego wielkiego wykazały silną dodatnią korelację ze wzrostem. Współczynnik korelacji dla długości (FML), szerokości (FMB) i powierzchni (FMA) otworu wielkiego w naszym badaniu wyniósł 0,69, 0,75 i 0,74 u mężczyzn oraz odpowiednio 0,45, 0,68 i 0,57 u kobiet. Babu i wsp. [21] nie wykazali korelacji FML, FMB i FMA ze wzrostem, a Cui i wsp. [20] wykazali słabszy współczynnik korelacji. Gruber i wsp. [22] stwierdzili, że zarówno pomiary FML, jak i FMB są tylko słabo skorelowane z długością kości udowej, która została wykorzystana jako wskaźnik zastępczy do oszacowania wzrostu. Różnice te mogą wynikać z różnic w czynnikach etnicznych, wyznania [39], środowiskowych [40], społeczno-ekonomicznych lub żywieniowych [41] między badaną populacją a inną populacją uwzględnioną w badaniach Cui i wsp. [20] czy Babu i wsp. [21].

Standardowy błąd oszacowania w niniejszym badaniu dla FML, FMB i FMA dla mężczyzn wynosił odpowiednio 5,6 cm, 5,1 cm i 5,2 cm, a dla kobiet odpowiednio 6,9 cm, 5,6 cm i 6,3 cm. Zaobserwowano, że błąd standardowy oszacowania w obecnym badaniu był znacznie mniejszy niż w przypadku innych badań dotyczących pomiarów otworów w celu oszacowania wzrostu [20]. Cui i wsp. wykazali, że błąd standardowy oszacowania w populacji południowych Chin dla FML, FMB i FMB wynosił 6,91, 6,71 i 6,84 [20]. Podobnie, standardowy błąd oszacowa-

After 15 years the size of foramen magnum does not change appreciably [38].

In the present study, the stature was estimated from fresh skulls in central Indian males. The mean stature for this group was 163.9 (7.7) cm, comparatively shorter than that found in other studies of Indian and Chinese populations (Table IV).

In the present study, the foramen magnum measurements showed strong positive correlation in estimating stature. The correlation coefficient for Length (FML), Breadth (FMB), and Area (FMA) in our study was 0.69, 0.75, and 0.74 in males while it was 0.45, 0.68, and 0.57 in females, respectively. There was no correlation done by Babu *et al.* [21] with stature. Cui *et al.* [20] showed weaker correlation coefficient for FML, FMB, and FMA. Gruber *et al.* [22] found that both the FML and FMB measurements have only minor correlation to femur length, which was used as a proxy to stature. These variations may be due to variance in ethnic, secular [39], environmental [40], socioeconomic, or nutritional factors [41] between the study population and other population groups of studies by Cui *et al.* [20] and Babu *et al.* [21].

The standard error of estimate in the present study for FML, FMB, and FMA for males were 5.6 cm, 5.1 cm, and 5.2 cm, respectively. Similarly, the standard error of estimate in the present study for FML, FMB, and FMA for females were 6.9 cm, 5.6 cm, and 6.3 cm, respectively. It was observed that the standard error of estimate of the present study was much less than that in the studies done from foramen measurements for estimating stature [20]. Cui *et al.* showed standard error of estimate in a southern Chinese population for FML, FMB, and FMB to be 6.91, 6.71, and 6.84, respectively [20]. Similarly, the standard error of estimate for a north-

nia w północnochińskiej populacji dla FMB wynosił 7,19 [20]. Zatem pomiary wielkości otworu potylicznego wielkiego wykazują dobre korelacje i mogą być wiarygodnie zastosowane do oszacowania wzrostu populacji środkowych Indii.

Tabela VI zawiera krótkie zestawienie porównań błędu standardowego oszacowania z różnych badań, w szczególności dotyczących kości długich, dłoni i stopy, oraz niektórych innych badań opartych na kręgosłupie i długości mostka w celu oszacowania wzrostu danej osoby. Standardowy błąd oszacowania w niniejszym badaniu był stosunkowo wyższy w porównaniu z badaniami przeprowadzonymi na kościach długich w celu oceny wzrostu. Porównując błąd standardowy oszacowania obecnego badania z badaniami obejmującymi pomiary dłoni i stóp, kości krzyżowej i mostka do oceny wzrostu, stwierdzono, że były one podobne [3, 7, 8, 34]. Jednakże w badaniu dotyczącym oszacowania wzrostu na podstawie kręgosłupa standardowy błąd oszacowania okazał się mniejszy niż w obecnym badaniu [37].

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że pomiary otworu wielkiego mogą być z powodzeniem wykorzystywane do oceny wzrostu przez kryminologów. Wartości korelacji wymiarów powierzchni otworu potylicznego wielkiego są niższe w porównaniu z błędem wynikającym z zastosowania kości długich kończyny dolnej, ale są prawie takie same lub nawet wyższe niż w przypadku innych wymiarów czaszki [5, 6]. Równania należy dobrać stosownie do okoliczności przedstawionych przez organy śledcze, gdy dostępne jest miejsce urodzenia zmarłego. Niska wiarygodność oceny wzrostu na podstawie pomiaru otworu wielkiego jest spowodowana wczesnym zakończeniem wzrostu połączenia podstawno-potylicznego i okolicy otworu wielkiego [11, 12], a także

ern Chinese population for FMB was 7.19 [20]. Thus, the foramen magnum measurements for stature estimation have good correlations and thus can be reliable for stature estimation of the central Indian population.

Table VI shows the comparisons of standard error of estimate from various other studies, particularly of long bones, hand, and foot, and some other studies based on vertebral column and sternal lengths for estimating the height of individuals. The standard error of estimate in the present study was comparatively high in comparison to studies done on long bones for estimating stature. On comparing the standard error of estimate of the present study with studies involving hand and foot measurements, sacrum, and sternum for estimating stature, it was found that they were similar [3, 7, 8, 34]. However, in a study estimating stature from the vertebral column, the standard error of estimate was found to be less than that of the present study [37].

The results of the present study show that the measurements of the foramen magnum can be successfully used for estimation of stature by forensic experts. The correlation values of the dimensions of foramen magnum region are lower compared with the error from those using long bones of lower limb, but are nearly the same as, or even higher than, those from other cranial dimensions [5, 6]. The equations should be chosen in accordance with the circumstances provided by the investigating agencies when the birthplace of the deceased person is available. The low reliability of stature estimation from the foramen magnum measurement is due to early termination of the basi-occipital junction and foramen magnum region [11, 12], and also due to very little influence of puberty over the dimensions

Tabela V. Współczynniki korelacji u różnych badaczy
Table V. Correlation coefficients by different investigators

Otwór potyliczny wielki/ Foramen magnum	Babu YPR i wsp. [21]/ Babu YPR <i>et al.</i> [21]	Cui i wsp. [20]/ Cui <i>et al.</i> [20]	Gruber [22]	Niniejsze badanie – mężczyźni/ Present study – males	Niniejsze badanie – kobiety/ Present study – females
Długość/ Length (FML)	0.063	0.171	0.28	0.69	0.45
Szerokość/ Breadth (FMB)	0.344	0.287	0.25	0.75	0.68
Powierzchnia/ Area (FMA)	0.303	0.223	–	0.74	0.57

Tabela VI. Porównanie standardowych błędów oszacowania (cm) z różnych badań dotyczących szacowania wzrostu z zastosowaniem wzorów regresji

Table VI. Comparison of standard error of estimate (cm) from various studies on stature estimation from regression formulae

Źródło i populacja/Source and population	Długość kości/Bone length	SEE (cm)	95% CI (cm)
Dupertius i Hadden (biali Amerykanie) [16]/ Dupertius and Hadden (White American) [16]	Kość ramienna/Humerus	4.6	± 9.11
	Kość udowa/Femur	3.4	± 6.92
Dupertius i Hadden (czarni Amerykanie) [16]/ Dupertius and Hadden (Black American) [16]	Kość ramienna/Humerus	3.4	± 6.81
	Kość udowa/Femur	5.1	± 10.08
Lundy (czarni Południowoafrykanie) [27]/ Lundy (Black south African) [27]	Kość ramienna/Humerus	4.5	± 9.05
	Kość udowa/Femur	3.4	± 6.65
Stevenson (rasa mongoloidalna, północne Chiny) [28]/ Stevenson (Mongoloid North China) [28]	Kość ramienna/Humerus	2.9	± 5.85
	Kość udowa/Femur	2.2	± 4.38
Pearson (biali) [29]/ Pearson (White) [29]	Kość ramienna/Humerus	3.3	± 6.56
	Kość udowa/Femur	3.2	± 6.38
Trotter i Glesser (biali Amerykanie) [24]/ Trotter and Glesser (White American) [24]	Kość ramienna/Humerus	4.0	± 6.56
	Kość udowa/Femur	3.3	± 8.78
Trotter i Glesser (czarni Amerykanie) [24]/ Trotter and Glesser (Black American) [24]	Kość ramienna/Humerus	4.4	± 7.78
	Kość udowa/Femur	3.9	± 10.05
Telkka (biali) [40]/Telkka (White) [40]	Kość ramienna/Humerus	5.0	± 9.86
Mendonca [30]	Kość ramienna/Humerus	4.25	± 8.44
	Kość udowa/Femur	3.50	± 6.96
Ross i Konisberg [31]	Kość ramienna/Humerus	4.03	± 7.90
	Kość udowa/Femur	3.30	± 6.47
	Kość piszczelowa/Tibia	3.39	± 6.64
Duyar i Pelin [32]	Kość piszczelowa/Tibia	3.94	± 7.82
Pelin i wsp. [33]/Pelin <i>et al.</i> [33]	Kość krzyżowa/Sacrum	6.59	± 13.32
Sanli i wsp. [34]/ Sanli <i>et al.</i> [34]	Dłoń/Hand	4.27	± 8.50
	Stopa/Foot	4.30	± 8.56
Duyar i wsp. [35]/ Duyar <i>et al.</i> [35]	Kość łokciowa/Ulna	5.59	± 11.07
	Kość piszczelowa/Tibia	3.94	± 7.8
Celbis i Agritmis [36]/ Cebis and Agritmis [36]	Kość promieniowa/Radius	4.7	± 9.35
	Kość łokciowa/Ulna	4.8	± 9.55
Nagesh i Kumar [37]/Nagesh and Kumar [37]	Kręgosłup/Vertebral column	4.38	± 8.73
Krishan i Sharma [15]/Krishan and Sharma [15]	Dłoń/Hand	5.22	± 10.34
	Stopa/Foot	6.19	± 12.26
Marinho i wsp. [23]/Marinho <i>et al.</i> [23]	Cały mostek/Total sternal	6.59	± 13.32
Niniejsze badanie – mężczyźni/ Present study – males	Długość/Length (FML)	5.6	± 11.1
	Szerokość/Breadth (FMB)	5.1	± 10.4
	Powierzchnia/Area (FMA)	5.2	± 10.5
Niniejsze badanie – kobiety/ Present study – females	Długość/Length (FML)	6.9	± 13.4
	Szerokość/Breadth (FMB)	5.6	± 11.4
	Powierzchnia/Area (FMA)	6.3	± 12.8

bardzo niewielkim wpływem dojrzewania na wymiary obszaru otworu wielkiego. Angel [14] zasugerował, że podstawa czaszki jest wrażliwa na odżywianie, ponieważ ciężar głowy przenoszony jest przez staw szczytowo-potyliczny i możliwe jest, że wpływ na wymiary otworu wielkiego mają również obciążenia ścian kłykciowych, a także naprężenia w mięśniach przedniej, bocznej i tylnej części szyi [13]. Hoyte [15] oraz Scheuer i Black [12] zaproponowali, że resorpcja kości powoduje niewielki wzrost wymiarów obszaru otworu wielkiego po ustaniu całkowitego wzrostu. Ponadto krzywica i garb powodują deformację podstawy czaszki. Dlatego w praktycznych zastosowaniach należy wziąć pod uwagę inne informacje, takie jak stan odżywienia.

Można postawić pytanie, czy wyniki uzyskane przy użyciu świeżej kości czaszki do oceny wzrostu mogą być obciążone błędem. Istnieje mniejsze prawdopodobieństwo, że będą one obciążone błędem, ponieważ każdy błąd ma tendencję do systematyczności. Zostało to wyraźnie opisane przez Marinho i wsp. [23] podczas badania świeżego mostka w celu oceny wzrostu. Ponadto wzór uzyskany w badaniu ma większe zastosowanie do świeżej czaszki i należy go ostrożnie stosować w przypadku suchej, macerowanej czaszki [23]. W kilku badaniach wykazano, że analizowanie i stosowanie różnych metod szacowania wzrostu nie ma uniwersalnego zastosowania, a model opracowany na podstawie określonej populacji może nie dać wiarygodnych szacunków, gdy zostanie zastosowany w innej populacji [23]. Proporcje ciała mogą być różne u osób z krajów rozwiniętych i rozwijających się [42]. Wynika to głównie z różnic w proporcji między wzrostem a wielkością kości, które wynikają z różnic warunków środowiskowych podczas wzrostu [42].

Ocena wzrostu jest ważnym aspektem w identyfikacji szczątków kostnych lub okaleczonych ciał. Długość otworu potylicznego wielkiego może być stosowana jako metoda alternatywna, gdy wymagane jest szybkie oszacowanie i gdy nie można przeprowadzić maceracji. Pomiar ten może być łatwo przeprowadzony na stosunkowo świeżym lub silnie rozłożonym ciele. Podobnie, jest to dobrze zachowana część ciała w przypadku zaawansowanego rozkładu, okaleczenia, a nawet rozwłóczenia szczątków przez zwierzęta. W niniejszym badaniu pomiary otworu potylicznego wielkiego wykazują stosunkowo dobrą korelację ze wzrostem, aczkolwiek z wyższym standardowym błędem oszacowa-

of the foramen magnum region. Angel [14] suggested that the skull base is sensitive to nutrition, as the weight of the head is transmitted through the atlanto-occipital joint, and it is possible that loading of the condylar facets as well as stresses in the frontal, lateral, and posterior neck musculature contribute to the dimensions of the foramen magnum region [13]. Hoyte [15] and Scheuer and Black [12] proposed that bone resorption causes a slight increase in foramen magnum region dimensions after overall growth has ceased. Furthermore, rickets and hunchbacks cause deformation of the cranial base. Therefore, other information such as nutritional status should be taken into account in practical applications.

The question may be raised whether results obtained by using fresh skull bone for estimating stature might be biased; however, the results obtained by using fresh skull for estimating stature are less likely to be biased because any error tends to be systematic. This was clearly described by Marinho *et al.* [23] while studying fresh sterna for the estimation of stature. However, the formula obtained in the study is more applicable to the fresh skull and should be applied with caution to dry macerated skull [23]. Several studies have demonstrated that the analysis and application of different stature estimation methods is not universally applicable, and a model developed from a specific population may not give reliable estimates when applied to another population group [23]. For example, body proportions may vary among individuals from developed countries and developing countries [42]. This occurs mostly from differences in proportion between stature and bone size that result from differences in environmental conditions during growth [42].

Estimation of stature is an important aspect in the identification of skeletal remains or mutilated bodies. The foramen magnum length can be used as an alternative method when a quick estimate is required and when maceration cannot be carried out, because it is easily observed and measured from a relatively fresh or badly decomposed body. Similarly, the foramen magnum is often a well-preserved part of body in cases of advanced decomposition, mutilation, and even in animal scavenging. In the present study, the foramen magnum measurements had comparatively good correlation with stature, albeit with higher standard error of estimate in regression analysis. Our study concludes that the foramen

nia w analizie regresji. Z naszego badania wynika, że otwór potyliczny wielki ma pewne znaczenie dla oceny wzrostu, gdy kości długie są niedostępne lub dostępnych jest tylko kilka kości.

magnum has some importance for stature estimation when long bones are not available or when few bones are available.

The authors declare no conflict of interest.

Autorzy deklarują brak konfliktu interesów.

Piśmiennictwo

References

1. Didia BC, Nduka EC, Adele O. Stature estimation formulae for Nigerians. *J Forensic Sci* 2009; 54: 20-21.
2. Kanchan T, Menezes RC, Kotian MS. Stature estimation: valuable precautions. *J Forensic Leg Med* 2008; 15: 413.
3. Kanchan T, Menezes RC, Moudgil R, et al. Stature estimation from foot dimensions. *Forensic Sci Int* 2008; 179: 241.e1-5.
4. Bidmos MA. Metatarsals in the estimation of stature in South Africans. *J Forensic Leg Med* 2008; 15: 505-509.
5. Sahni D, Sanjeev, Sharma P, Harjeet, Kaur G, Aggarwal A. Estimation of stature from facial measurements in northwest Indians. *Leg Med (Tokyo)* 2010; 12: 23-27.
6. Krishan K. Estimation of stature from cephalo-facial anthropometry in North Indian population. *Forensic Sci Int* 2008; 181: e1-6.
7. Krishan K. Determination of stature from foot and its segments in a North Indian population. *Am J Forensic Med Pathol* 2009; 29: 297-303.
8. Sen J, Ghosh S. Estimation of stature from foot length and foot breadth among th Rajbanshi: an indigenous population of North Bengal. *Forensic Sci Int* 2008; 181: e1-6.
9. Bidmos MA. Estimation of stature using fragmentary femora in indigenous South Africans. *Int J Legal Med* 2009; 122: 293-299.
10. Krishan K. Estimation of stature from footprint and foot outline dimensions in Gujjars of North India. *Forensic Sci Int* 2008; 175: 93-101.
11. Hoyte DA. The cranial base in normal and abnormal skull growth. *Neurosurg Clin N Am* 1991; 2: 515-537.
12. Scheuer L, Black S. *Developmental juvenile osteology*. Academic Press, London 2000.
13. Agnihotri AK, Purwar B, Googoolye K, et al. Estimation of stature by foot length. *J Forensic Leg Med* 2007; 14: 279-283.
14. Angel JL. A new measure of growth efficiency: skull base height. *Am J Phys Anthropol* 1982; 58: 297-305.
15. Krishan K, Sharma A. Estimation of stature from dimensions of hands and feet in a North Indian population. *J Forensic Leg Med* 2007; 14: 327-332.
16. Dupertius CW, Hadden Jr JA. On the reconstruction of stature from long bones. *Am J Phys Anthropol* 1951; 9: 15-54.
17. Krogman WM, Iscan MY. Calculation of stature. In: *The Human Skeleton in Forensic Medicine*. 2nd ed. Charles C. Thomas Publisher, Springfield 1986; 302-351.
18. Simmons T, Jantz RL, Bass WM. Stature Estimation from fragmentary femora: a revision of the steele method. *J Forensic Sci* 1990; 35: 628-636.
19. Meadows L, Jantz RL. Estimation of stature from metacarpal lengths. *J Forensic Sci* 1992; 37: 147-154.
20. Cui Y, Zhang J. Stature estimation from foramen magnum region in chinese population. *J Forensic Sci* 2013; 58: 1127-1135.
21. Babu YPR, Bakkannavar SM, Manjunath S, et al. Foramen magnum as a tool of estimating stature in a male population. *Journal of South India Medicolegal Association* 2014; 6: 46-48.
22. Gruber P, Henneberg M, Boni T, Frank JR. Variability of human foramen magnum size. *Evolutionary Biology* 2009; 292: 1713-1719.
23. Marinho L, Almeida D, Santos A, et al. Is the length of the sternum reliable for estimating adult stature? A pilot study using fresh sternal and a test of two methods using dry sternal. *Forensic Sci Int* 2012; 220: 292.e1-292.e4.
24. Trotter M, Glesser GC. Estimation of stature from long bones of American whites and Negroes. *Am J Phys Anthropol* 1952; 10: 463-514.
25. Ashley CT. The relationship between the pattern of ossification and the definitive shape of the mesosternum in man. *J Anat* 1956; 90: 87-105.
26. SPSS Inc., *SPSSVersion 17.0 for window user's guide*, SPSS Inc., Chicago, 2008.
27. Lundy JK. Regression equations, for estimating living stature from long bones in South African Negro. *S African J Sci* 1983; 79: 337-338.
28. Stevenson PH. On racial difference in stature long bone regression formulae with specific reference to stature reconstruction formulae for the Chinese. *Biom* 1929; 21: 303-318.
29. Pearson K. Mathematical contribution to the theory of evolution of the stature of Prehistoric races. *Philosophical Transaction of the Royal Society* 1899; 192: 162-244.



30. Mendonca MC. Estimation of height from the length of long bones in a portugese adult population. *Am J Phys Anthropol* 2000; 112: 39-48.
31. Ross AH, Konisberg LW. New formula for estimating stature in the Balkans. *J Forensic Sci* 2002; 47: 165-167.
32. Duyar I, Pelin C. Body height estimation based on tibia length in different stature groups. *Am J Phys Anthropol* 2003; 122: 23-27.
33. Pelin C, Duyar I, Kayahan EM, et al. Body height estimation based on dimension of sacral and ciccyeal vertebrae. *J Forensic Sci* 2005; 50: 294-297.
34. Sanli SG, Kizilkanat ED, Boyan N, et al. Stature estimation based on hand length and foot length. *Clin Anat* 2005; 18: 589-586.
35. Duyar I, Pelin C, Zagyapan R. New method of stature estimation for forensic anthropological application. *Anthropol Sci* 2006; 114: 23-27.
36. Celbis O, Agritmis H. Estimation of stature and determination of sex from radial and ulnar bone lengths in a Turkish corpse sample. *Forensic Sci Int* 2006; 158: 135-139.
37. Nagesh KR, Kumar GP. Estimation of stature from vertebral column length in south Indians. *Leg Med (Tokyo)* 2006; 8: 269-272.
38. Hecht JT, Nelson FW, Butler IJ. Computed tomography of foramen magnum: achondroplastic values compared to normal standards. *Am J Med Genet* 1985; 20: 355.
39. Kondo S, Eto M. Physical growth studies on Japanese-American children in comparision with native Japanese. In: Horvath SM, Kondo S, Matsui H, Oshimura HY (eds.). *Human Adaptability: Comparative studies on human adaptability of Japanese, caucasians and Japanese Americans*. Tokyo Press, Tokyo 1975; 13-46.
40. Telkka A. On the prediction of human stature from the long bones. *Acta Anat (Basel)* 1950; 9: 103-117.
41. Meadows I, Jantz RL. Allometric secular change in the long bones from the 1800's to the present. *J Forensic Sci* 1995; 40: 762-767.
42. Bogin B, Rios L. Rapid morphological change in living humans: implications for modern human origins. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol* 2003; 136: 71-84.

Adres do korespondencji

Dr Nilesh Keshav Tumram, MD, Associate Professor
 Department of Forensic Medicine and Toxicology
 Indira Gandhi Government Medical College
 Nagpur, Maharashtra, India 440018
 email- ntumram@rediffmail.com

Nadesłano: 17.04.2020**Zaakceptowano:** 03.09.2020**Address for correspondence**

Dr Nilesh Keshav Tumram, MD, Associate Professor
 Department of Forensic Medicine and Toxicology
 Indira Gandhi Government Medical College
 Nagpur, Maharashtra, India 440018
 email- ntumram@rediffmail.com

Submitted: 17.04.2020**Accepted:** 03.09.2020