

# Digitale forensische Osteologie

## Einleitung

Humane Knochen- oder Skelettfunde, bei denen eine forensisch relevante Liegezeit nicht ausgeschlossen werden kann [36, 37], werden maßgeblich durch Methoden, wie Gebissvergleich (forensische Odontostomatologie) [10], DNA-Analyse [40] oder Röntgenvergleich [23], identifiziert. Dies setzt jedoch voraus, dass eine verdächtige Person existiert und von dieser das entsprechende Vergleichsmaterial zur Verfügung steht. Auf dem Weg zur Identifizierung sind jedoch anhand der osteologischen Untersuchungen Aussagen zu Geschlecht, Lebensalter und Körpergröße möglich und bei primär fehlenden Identitätshinweisen unverzichtbar. Auch bei stark verwesenen Leichen oder Leichenteilen kann die Skelettuntersuchung diesbezüglich wertvolle oder sogar die einzig wertbaren Informationen liefern.

Die Geschlechtsbestimmung am Skelett erfolgt durch die morphognostische oder morphometrische Beurteilung sexualdimorpher knöcherner Merkmale [9]. Insbesondere das Becken und der Schädel sind Träger dieser Sexualdimorphismen [5]. Auch an Anteilen des Schädels, wie z. B. der Pars petrosa ossis temporalis, können metrische Untersuchungen zur Geschlechtsdifferenzierung beitragen [39]. Zur Schätzung der Körperhöhe wird der Umstand ausgenutzt, dass die langen Extremitätenknochen in einem linearen Verhältnis zur Gesamtkörperlänge stehen. Basierend auf dem mathematischen Modell der linearen

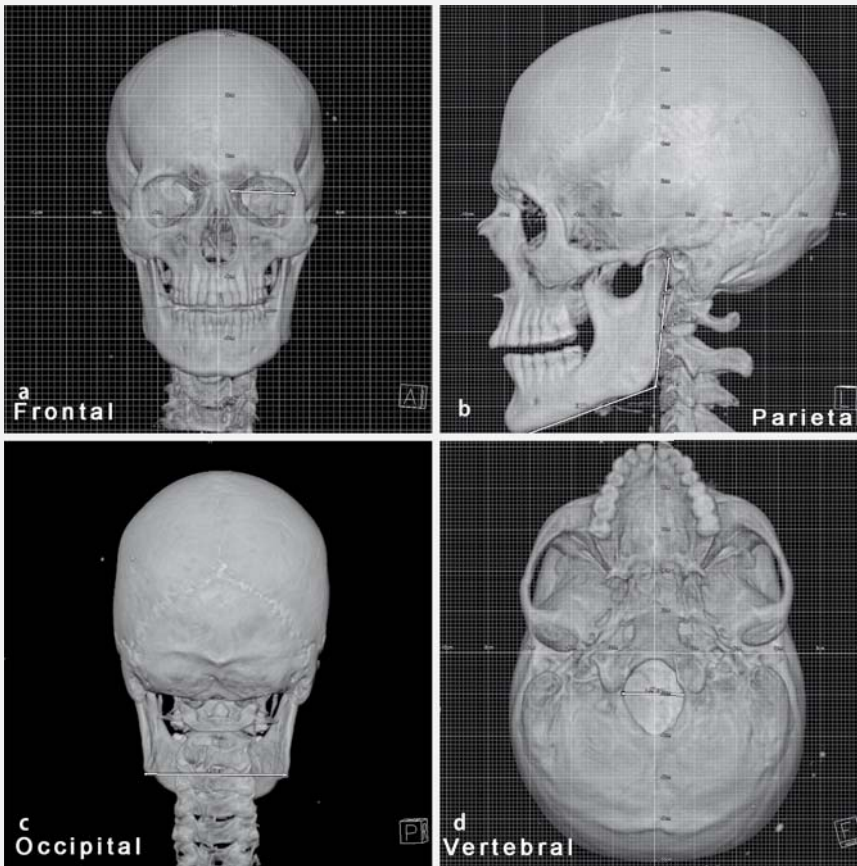
Regression existieren zahlreiche Formeln, die eine Rekonstruktion der Körperhöhe überwiegend durch die Bestimmung der Längenmaße von Röhrenknochen ermöglichen [2, 16, 17, 30]. Für die Altersbestimmung einer unbekannt Person finden sich zahlreiche empirische Untersuchungen in Anthropologie und Rechtsmedizin. Individuelle Alterung, Lebensform und Lebensumstände am jeweiligen Lebensort müssen dabei, sofern bekannt, beachtet werden. Anhaltspunkte für das Individualalter am Skelett [1, 8] liefern z. B.

- der Zustand der Epiphysenfugen [4, 41] (bei Heranwachsenden),
- der Zahnstatus [14, 31, 32] (u. a. Wurzeltransparenz, Durchbruch bzw. Abrasion und intravitale Zahnverlust),
- das Oberflächenrelief der Symphyse [3, 29],
- die Nahtobliteration des Schädels [35], modifiziert nach Rösing [21] (ektokranial) und Olivier [15] (endokranial), beides, endo- und ektokranial evaluiert nach Perizonius [19] und
- degenerative Prozesse am Bewegungsapparat [25].

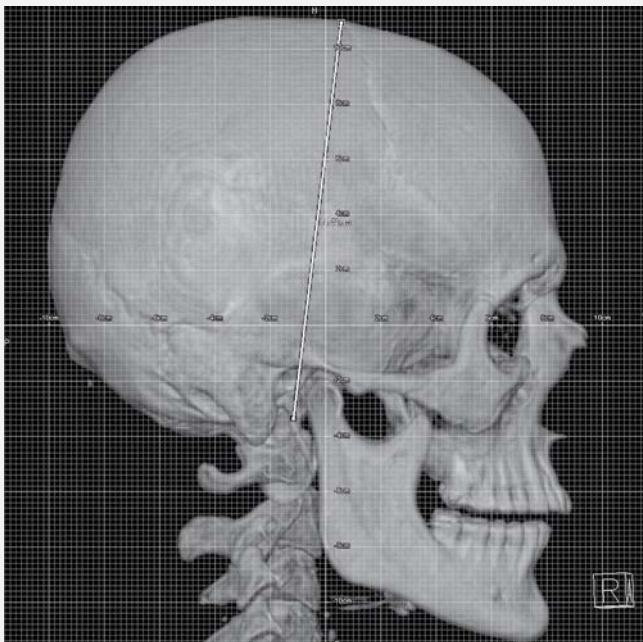
Alle morphologischen und morphometrischen Parameter weisen jedoch einen starken Populations- und Geschlechtsbezug auf, sodass sich ihre Anwendungen grundsätzlich auf solche Bevölkerungen und Skelettkollektive beschränkt, an denen Merkmale erhoben bzw. die Regressionsformeln entwickelt wurden [22, 33]. Insbesondere bei der Körperhöhe und

der Geschlechtsdifferenzierung, aber auch bei Anteilen der Altersbestimmung (z. B. Schädelnähte) sind die heute in Mitteleuropa verwendeten Daten bereits viele Jahrzehnte alt. Die Gewinnung der Daten, wie z. B. die Auswertung von Röntgenbildern von Rekruten zur Messung der Langknochen, muss aus heutiger Sicht teilweise mehr als fragwürdig angesehen werden [2, 16, 30]. Bei keiner dieser Publikationen zur Körperhöhenbestimmung wurde das Lebensalter als möglicher Einflussfaktor berücksichtigt. Dies wurde lediglich von Penning realisiert, der osteologische Vermessungen an Leichen im Rahmen von Obduktionen durchgeführt hat [18].

Umfangreiche morphologische und morphometrische Untersuchungen an Skeletten aus aktuellen Populationen mit genauer Kenntnis von Geschlecht, Lebensalter und Körpergröße sind notwendig. Eine hierfür geeignete Rekrutierung von Probanden wäre allenfalls aus Verstorbenen in der Anatomie oder anlässlich von Sektion in der Pathologie oder Rechtsmedizin möglich. Am regulär obduzierten Leichnam können jedoch nur sehr eingeschränkt osteologische Parameter erhoben werden [18]. Optimale Voraussetzungen würde die Präparation und die Mazeration des gesamten Skeletts im Anschluss an die Obduktion bieten. Dies wäre sowohl ethisch als auch rechtlich nur mit einer Einverständniserklärung des Verstorbenen zu Lebzeiten oder der Angehörigen nach Todeintritt durchführbar. Eine diesbezügliche Zustimmung wäre wohl nur in den seltensten Fällen zu erwarten.



**Abb. 1** ▲ Virtuelle 3D-Rekonstruktion eines Schädels aus einem Virtopsy®-Datensatz, ausgerichtet mithilfe des Gitternetzes in den 4 definierten Messebenen; jede Messebene mit einer exemplarischen Messstrecke



**Abb. 2** ◀ Virtueller Schädel in der rechtsseitigen Parietalansicht. Als Projektion des Basions wurde hilfsweise die Basis des Processus styloideus gewählt

Ähnliche Überlegungen führten bereits in den 1980er-Jahren in den USA zur Entwicklung der „forensic data bank“, die rezente Daten von (geklärten) forensisch-osteologischen Fällen enthält und kontinuierlich erweitert wird [13]. Sie fungiert als Referenzdatenbank für die Analyse-Software „Fordisc“ [7].

Bereits 2001 wurde gezeigt, dass die digitale Auswertung von Digitalfotos bei der Geschlechtsdifferenzierung an der Mandibula hilfreich sein kann [24]. Eine hochauflösende Computertomographie (CT) war die Basis für die digitale Rekonstruktion des Schädels des Sahelanthropus tchadensis [42].

Vor diesem Hintergrund entstand die Idee, für die forensisch-osteologische Datenerhebung auf rezente „digitale Knochen“ zurückzugreifen, die bei einer CT-Untersuchung gespeichert wurden. Aufnahmen aus der diagnostischen Radiologie beinhalten naturgemäß nur einen kleinen Teil des Körpers. An solchem Material wurden bereits erfolgreich Methoden zur Geschlechtsdiskriminierung durch Messungen im Bereich des Foramen magnum überprüft [34]. Wünschenswert wären jedoch Ganzkörper-CT-Scans mit hoher Auflösung, zu denen persönlichkeitsrelevante Merkmale (Geschlecht, Alter, Körpergröße) bekannt sind. Zudem müssen pathologische Prozesse dokumentiert sein, die einen Einfluss auf die Skelettmorphologie haben und die Verwendung der erhobenen Parameter einschränken könnten.

In den vorgestellten Untersuchungen sollte zunächst überprüft werden, ob klassische osteometrische Parameter an postmortalen CT-Scans, die anlässlich des Virtopsy®-Projekts (<http://www.virtopsy.com>) am Institut für Rechtsmedizin der Universität Bern (Schweiz) entstanden sind [6, 26, 27, 28], erhoben werden können. Weiterhin stellte sich die Frage, ob mithilfe der CT-Daten neue osteologische Parameter mit Korrelationen zu Alter, Geschlecht oder Körpergröße definiert werden können.

### Material und Methoden

Zur Verfügung standen die elektronischen Daten der CT-Scans, die im Rahmen des Virtopsy®-Projektes gespeichert wurden. Die Datensätze waren anonymisiert. Bekannt waren Geschlecht, Alter, Körper-

größe und Körpergewicht. Individuen mit pathologischen Veränderungen mit Einfluss auf das Skelettsystem oder ausgedehnten knöchernen Verletzungen wurden zuvor ausgeschlossen.

Zur Überprüfung der Genauigkeit und der Reproduzierbarkeit von digital erhobenen Parametern standen 4 isolierte, markierte und anonymisierte Schädel vom anatomischen Institut der Universität Bern zur Verfügung. Diese wurden von 3 erfahrenen forensisch-osteologischen Untersuchern und von 3 unerfahrenen, jedoch intensiv in die Methoden eingeführten Untersuchern zunächst konventionell vermessen [38]. Erhoben wurden 33 lineare Messstrecken nach Martin u. Saller [12], die auch in der Forensic data bank [13] enthalten sind, und von denen 29 in der Software „Fordisc“ [7] verwendet werden. Die Strecken wurden in ganzen Millimetern gemessen. Betrachtet wurden die Abweichungen der Messergebnisse der jeweiligen Untersucher für jede Messstrecke. Nach der konventionellen Vermessung wurden die 4 Schädel mit dem Spiral-CT der Fa. Siemens (Somatom Emotion Duo/Emotion 6), das im Virtopsy®-Projekt eingesetzt wird sowohl mit einer Schichtdicke von 1,25 mm als auch 0,63 mm gescannt.

Im Rahmen des Virtopsy®-Projektes wurde ein Leichnam mit dem Spiral-CT (Schichtdicke 1,25 mm) gescannt. Bei der anschließenden Autopsie wurden Schädelhöhe und -breite, „größte Stirnbreite“ sowie Länge der Sagittalnaht mit Tasterzirkel nach Abpräparation der Kopfschwarte, vor Eröffnung des Schädels durch Sägeschnitt, vermessen. Zusätzlich wurde als äußerlich sichtbares Maß der Abstand von Condylus lateralis zu Malleolus lateralis beidseits erhoben.

Die gewonnenen und bereits im Rahmen des Virtopsy®-Projektes gespeicherten CT-Daten wurden an der Leonardo Workstation (Siemens Medical Solutions, Erlangen, Germany) bearbeitet. Hierbei wurden sowohl Schnittbilder berechnet, als auch virtuelle 3D-Rekonstruktionen angefertigt.

Nach den Voruntersuchungen zur Definition der Standards wurden die 3D-Rekonstruktionen der 4 isolierten Schädel von allen 6 Untersuchern vermessen [38]. Auch die am Leichnam während der Obduktion durchgeführten Messungen wur-

Rechtsmedizin 2006 · 17:29–34 DOI 10.1007/s00194-006-0407-x  
© Springer Medizin Verlag 2006

M. A. Verhoff · F. Ramsthaler · J. Krähahn · R. J. Gille · P. Kage · S. Kage · M. Durschnabel · J. Strunk · U. Deml · S. Grabherr · C. Jackowski · S. Ross · L. Oesterhelweg · M. Thali · K. Kreutz  
**Digitale forensische Osteologie**

### Zusammenfassung

Forensisch-osteologische Untersuchungen bilden die entscheidende Grundlage bei der Beurteilung von Knochen- und Skelettfunden sowie stark verwesenen Leichen oder Leichenteilen auf dem Weg zur Identifizierung. Voraussetzung für die Interpretation der morphologischen und osteometrischen Befunde sind in ausreichender Zahl vermessene und statistisch ausgewertete, rezente Skelette. Solche stehen jedoch in der Regel nicht zur Verfügung, und für die Auswertung ist man gezwungen, auf Regressionsformeln etc. aus z. T. vielen Jahrzehnten alten Publikationen zurückzugreifen. In den vorliegenden Untersuchungen wurde gezeigt, dass klassische osteometrische Parameter an den 3D-Rekonstruktionen von „multislice computed to-

graphy- (MSCT-)scans“, die im Rahmen des Virtopsy®-Projektes durchgeführt worden sind, erhoben werden können. Weitere Ziele sind die Untersuchung und die biostatistische Auswertung aller bislang im Virtopsy®-Projekt gespeicherten sowie zukünftiger Datensätze und Korrelierung mit Geschlecht, Alter und Körpergröße. Zudem wäre auch die Definition von neuen, nur mithilfe der Computertomographie (CT) messbaren Parametern denkbar.

### Schlüsselwörter

Forensische Osteologie · Osteometrie · Multislice-Computertomographie · 3D-Rekonstruktion · Virtopsy®

## Digital forensic osteology

### Abstract

Forensic osteology examinations constitute the pivotal basis for the assessment of bone or skeletal remains, as well as for badly decomposed corpses or body parts. The prerequisite for interpreting the morphological and morphometric findings is a sufficient number of measured and statistically evaluated modern skeletons. However, as a rule these are not available and one is forced to resort to regression formulae, etc. taken from publications that are, in part, many decades old. The present studies showed that classic osteometric parameters can be determined from the 3-D reconstructions of MSCT (mul-

tislice computed tomography) scans acquired in the context of the Virtopsy® project. Future aims are the assessment and biostatistical evaluation in respect to sex, age and stature of all data sets stored in the Virtopsy® project, as well as of future data sets. Furthermore, a definition of new parameters only measurable with the aid of MSCT data would be conceivable.

### Keywords

Forensic osteology · Osteometry · Multislice computed tomography · 3-D reconstruction · Virtopsy®



**Abb. 3 ▲** Schnittbild mit Darstellung der Sinus maxillares. Diese werden an Schnittbildserien in Höhe, Breite und Tiefe vermessen, und so wird die maximale Ausdehnung bestimmt

den an digitalen 3D-Rekonstruktionen wiederholt. An verschiedenen im Virtopsy®-Projekt gespeicherten Daten wurden Vermessungen von Schädeln, Langknochen und anderen Knochen des Postkraniums durchgeführt. Außerdem wurde die Definition neuer osteologischer Parameter versucht.

## Ergebnisse

An den CT-Daten der 4 mazerierten Schädel wurde zunächst versucht, die klassischen Schädelmesspunkte [12] aufzufinden. Dies wurde an den frei definierbaren Schnittbildern und 3D-Rekonstruktionen durchgeführt. An den Schnittbildern waren zahlreiche Punkte nur schwer und nichtreproduzierbar zu markieren. Eine wesentlich bessere Vorstellung von der Morphologie des Schädels boten die 3D-Rekonstruktionen. An diesen waren alle bekannten Messpunkte aufzufinden. Das Problem war allerdings, dass die Punkte nicht als definierbares Voxel angesteuert werden konnten. Eine Streckenmessung war nur in der Bildschirmenebene möglich. Somit mussten für eine korrekte Messung der Strecke zwischen 2 Messpunkten beide Messpunkte in der Frontalebene eingestellt werden. Das gelang erst, nachdem der Schädel mithilfe des Gitterrasters in der sog. Frankfurter Ebene [11, 12] ausgerichtet wurde. Auf dieser Basis wurden 4 Schädelpositionen definiert, in denen alle 33 Parameter vermessen werden konnten (■ Abb. 1).

Die Messungen unter Beteiligung des Basions mussten sämtlich in der parietalen Ansicht erfolgen, in der das Basion aber nicht sichtbar war. Hilfsweise konnte die Basis des Processus styloideus als Projektionspunkt des Basions in der Parietalansicht ermittelt werden (■ Abb. 2).

Nach Definition der Messebenen wurden die insgesamt 8 virtuellen Schädel (4 Schädel, jeweils in 1,25- und 0,63-mm-Schichtdicke gescannt) durch die verschiedenen Untersucher vermessen. Die analog ermittelten Ergebnisse konnten verifiziert werden. Die Mittelwerte der digital gemessenen Parameter wichen von den Analogenen um bis zu 1–2 mm, in seltenen Fällen bis zu 4 mm ab; dies entsprach etwa der Schwankung von Untersucher zu Untersucher [38].

An dem untersuchten Leichnam wurde während der Obduktion eine Schädelhöhe von 185 mm und eine Schädelbreite von 140 mm bestimmt. Die Länge der Sagittalnaht betrug 124 mm. Am virtuellen, digital 3D-rekonstruierten Schädel des Leichnams wurden im Mittel eine Schädelhöhe von 184 mm, eine Breite von 139 mm und eine Sagittalnahtlänge von 124 mm gemessen. Die maximale Abweichung zwischen den Untersuchern betrug 1 mm. Der Abstand von Condylus lateralis zu Malleolus lateralis wurde am Leichnam und am virtuellen Modell beidseits mit 43,5 cm ermittelt.

An den Datensätzen aus dem Virtopsy®-Projekt konnten alle Knochen des Skeletts digital dreidimensional rekonstruiert werden. Die Darstellung der Femora und der Humeri stellte sich als zeitaufwendig dar, wenn sie aus zwei Datensätzen rekonstruiert werden mussten. Dies war, bedingt durch praktische Aspekte, beim Scan häufig der Fall. Für alle Langknochen sowie für Scapula und Patella wurden Einstellungen gefunden, die eine korrekte Messung der bekannten Parameter ermöglichten.

Aus den Datensätzen des Virtopsy®-Projektes wurden die Messstrecken an 25 3D-rekonstruierten Schädeln (13 männlich, 12 weiblich) vermessen, die in der Analyse-Software Fordisc® verwendet werden. Die Messungen wurden von 2 Untersuchern unabhängig voneinander durchgeführt und innerhalb von 2 Tagen jeweils noch einmal wiederholt. Die Variabilität für die

jeweiligen Parameter war zwischen den beiden Untersuchern, aber auch zwischen den beiden Messvorgängen desselben Untersuchers gering, meist kleiner als 1–2 mm und sehr selten bis 3 mm. Diese Ergebnisse waren mit im identischen Versuchsaufbau analog vermessenen 25 Schädeln aus Frankfurt und Mainz vergleichbar [20].

Eine genaue Beurteilung der Schädelnähte am 3D-Modell war nicht möglich. Durch unterschiedliches Fenstern an der Workstation konnten Gewebsstrukturen beliebig hinzugefügt und entfernt werden; dies veränderte das Erscheinungsbild der Schädelnähte je nach Einstellung des Fensters erheblich. Auf den 2D- (Schnitt-)Bildern war die Unterscheidung von Knochen zu Weichgewebe besser möglich, und die Schädelnähte waren darstellbar. Eine reproduzierbare Einteilung in Stadien [15, 19, 21, 35] gelang jedoch bislang nicht.

An den Schnittbildern war eine sehr gute Darstellung der Sinus frontales und der Sinus maxillares (■ Abb. 3) möglich. Diese konnten hinsichtlich ihrer größten Ausdehnung in Höhe, Breite und Tiefe an Schnittbildserien vermessen werden.

## Diskussion

Nach den bisherigen Ergebnissen des Projektes „digitale forensische Osteologie“ können an digitalen 3D-Rekonstruktionen von Knochen nach Spiral-CT-Scans von Leichen im Rahmen des Virtopsy®-Projektes gleichwertige osteometrische Werte erhoben werden wie bei der klassischen manuellen („analogen“) Untersuchung realer Knochen. Die systembedingten und untersucherabhängigen Messfehler sind für beide Methoden vergleichbar. Größere Abweichungen zwischen beiden Methoden gibt es nur bei Werten, die bereits bei der klassischen Untersuchung eine hohe untersucherabhängige Streuung zeigten.

Untersucht wurden international anerkannte Standardparameter aus dem deutschen und dem amerikanischen Raum. Als Grundlage für die reliable Messung an den virtuellen Schädeln wurden standardisierte Einstellungen der 3D-Modelle, basierend auf der klassischen Ausrichtung des Schädels in der Ohr-Augen-Ebene (Frankfurter Ebene), entwickelt.

Die an einem Leichnam anlässlich einer Obduktion erhobenen Maße waren

mit Maßen, die mit Methoden des Virtopsy<sup>®</sup>-Projektes in der 3D-Rekonstruktion der CT-Daten gemessen wurden, ebenfalls verifizierbar.

■ **An den virtuellen Skeletten, basierend auf 3D-Rekonstruktionen der Datensätze von postmortalen CT-Scans aus dem Virtopsy<sup>®</sup>-Projekt, können alle bekannten und international verwendeten osteometrischen Parameter ohne Einschränkung erhoben werden.**

Ziel der weiteren Untersuchungen ist die Vermessung von Krania und Postkranium aller bislang im Virtopsy<sup>®</sup>-Projekt gespeicherten sowie zukünftiger Datensätze, die nicht aufgrund von Traumata oder Erkrankungen des Skelettsystems ausgeschlossen werden müssen. Bei der biostatistischen Auswertung erfolgt eine Korrelierung mit Geschlecht, Alter und Körpergröße.

Neben den bislang in der forensischen Osteologie verwendeten Parametern werden zusätzliche, neue gesucht. Die 3D-Rekonstruktionen geben dem Untersucher weitgehend einen realistischen, aber auch „gewöhnlichen“ Eindruck der knöchernen Strukturen. Zwar können an den 3D-Rekonstruktionen durch die Ausschneiden-Funktion Sägeschnitte simuliert und der Blick in das Innere, z. B. des Schädels, freigegeben werden. Aber eine notwendige Standardisierung dieser Schritte ist mit der Software bislang nicht möglich. Deshalb wären neue Parameter am ehesten unter Verwendung der Schnittbilder zu erwarten. Die darauf basierenden bisherigen Ansätze zur Beurteilung der Verknöcherung der Schädelnähte zwecks Lebensaltersschätzung waren aufgrund technischer Schwierigkeiten nicht erfolgversprechend. Dagegen sind Beurteilung sowie Vermessung der Stirn- und Keilbeinhöhlen sehr gut möglich. Nach ausreichender Anzahl von vermessenen Individuen ist die Frage, ob sich Zusammenhänge mit Geschlecht, Körpergröße oder Lebensalter erkennen lassen.

Mithilfe des Projektes „digitale forensische Osteologie“ kann es gelingen, eine ausreichende Zahl rezenter Skelette zu untersuchen, um die so wichtigen populationspezifischen Daten für die etablierten morphometrischen und morphologischen

Parameter zu erheben. Die Ergebnisse finden dann in der klassischen manuellen Untersuchung von Knochen- und Skelettfunden Anwendung. Es besteht aber auch die Möglichkeit, dass neue, aussagekräftige Parameter etabliert werden können, die nur mit der Auswertung von CT-Daten zu erheben sind. Dann wäre die Folge, dass in bestimmten Fällen von aufgefundenen Knochen oder stark verwesenen Leichen neben den bekannten morphologischen und morphometrischen Untersuchungen ein zusätzlicher CT-Scan empfohlen werden müsste.

## Fazit für die Praxis

**An digitalen 3D-Rekonstruktionen von Knochen nach Spiral-CT-Scans können klassische osteologische Parameter erhoben werden. Die so erhaltenen Werte sind mit denen vergleichbar, die manuell an realen Knochen gemessen werden. Die Datensätze von Verstorbenen, die im Rahmen des Virtopsy<sup>®</sup>-Projektes gespeichert wurden, bieten gegenüber diagnostisch-radiologischen Daten den Vorteil, dass sie nicht nur einen kleinen Ausschnitt, sondern meist den gesamten Körper abbilden. Zudem sind persönlichkeitsrelevante Daten, wie Alter, Geschlecht und Statur, zuverlässig bekannt. Dies eröffnet die Möglichkeit der Erhebung forensisch-osteologischer Daten an rezenten Skeletten zur Bestimmung bzw. zur Schätzung von Alter, Geschlecht und Körpergröße. Die radiologische Darstellung erlaubt zudem die Definition neuer Parameter, die manuell gar nicht zu messen wären und deren diagnostische Relevanz zu überprüfen ist.**

## Korrespondierender Autor

**Dr. M. A. Verhoff**

Institut für Rechtsmedizin, Universitätsklinikum Gießen und Marburg  
Frankfurter Straße 58, 35392 Gießen  
Marcel.A.Verhoff@forens.med.uni-giessen.de

**Interessenkonflikt.** Es besteht kein Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor versichert, dass keine Verbindungen mit einer Firma, deren Produkt in dem Artikel genannt ist, oder einer Firma, die ein Konkurrenzprodukt vertreibt, bestehen. Die Präsentation des Themas ist unabhängig und die Darstellung der Inhalte produktneutral.

## Literatur

1. Baccino E, Ubelaker DH, Hayek LA, Zerilli A (1999) Evaluation of seven methods of estimating age at death from mature human skeletal remains. *J Forensic Sci* 44: 931–936
2. Breiting E (1937) Zur Berechnung der Körperhöhe aus den langen Gliedmaßen. *Anthropol Anz* 14: 249–274
3. Brooks S, Suchey J (1990) Skeletal age determination based on the os pubis: a comparison of the Acsádi-Nemeskéri and Suchey-Brooks methods. *Hum Evol* 5: 227–238
4. Brothwell DR (1972) *Digging up bones*, 2nd edn. British Museum, London
5. France DL (1998) Observational and metric analysis of sex in the skeleton. In: Reichs KJ (ed) *Forensic osteology – Advances in the identification of human remains*. Thomas, Springfield, Illinois, pp 163–186
6. Jackowski C, Aghayev E, Sonnenschein M et al. (2006) Maximum intensity projection of cranial computed tomography data for dental identification. *Int J Legal Med* 120: 165–167
7. Jantz RL, Ousley SD (1993) *FORDISC 1.0: Computerized forensic discriminant functions*. University of Tennessee, Knoxville
8. Kemkes-Grottenthaler A (2002) Aging through the ages: historical perspectives on age indicator methods. In: Hoppa RD, Vaupel JW (eds) *Paleodemography. Age distributions from skeletal samples*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 48–72
9. Krogman WM, İscan MY (1986) *The human skeleton in forensic medicine*. Thomas, Springfield
10. Lessig R, Benthous S (2003) Forensische Odontostomatologie. *Rechtsmedizin* 13: 161–169
11. Martin R (1914) *Lehrbuch der Anthropologie*. Fischer, Jena
12. Martin R, Saller K (1957) *Kraniometrische Technik*. In: Martin R, Saller K (Hrsg) *Lehrbuch der Anthropologie*, Bd I. Fischer, Stuttgart, S 429–500
13. Moore-Jansen P, Ousley SD, Jantz RL (1994) *Data collection procedures for forensic skeletal material*. Reports of investigations no. 48. University of Knoxville, Dept. of Anthropology, Knoxville, Tennessee
14. Moores CFA, Fanning EA, Hunt EE Jr (1963) Age variation of formation stages for ten permanent teeth. *J Dent Res* 42: 1490–1502
15. Olivier G (1960) *Pratique anthropologie*. Vigot Frères, Paris
16. Olivier G, Aaron C, Fully G, Tissier G (1978) New estimations of stature and cranial capacity in modern man. *J Hum Evol* 7: 513–534
17. Pearson K (1899) On the reconstruction of stature of prehistoric races. *Mathematic contributions to the theory of evolution*. *Trans R Soc A* 192: 169–244
18. Penning R (1996) *Rechtsmedizin systematisch*. Uni-Med, Bremen, S 34–39
19. Perizonius WRK (1984) Closing and non-closing of sutures in 256 crania of known age and sex from Amsterdam (A.D. 1883–1909). *J Hum Evol* 13: 201–216
20. Ramsthaler F, Kreutz K, Krähahn J et al. (2007) *Digital forensic osteology: studies pertaining to the reliability of computer-assisted osteometry on cranial 3-D reconstructions of MSCT (multislice computer tomography)*. *Am J Phys Anthropol* (in press)
21. Rösing FW (1977) *Methoden der Aussagemöglichkeiten der anthropologischen Leichenbrandbearbeitung*. *Archaeol Naturwissenschaften* 1: 53–80
22. Rösing FW (1988) *Körperhöhenrekonstruktion aus Skelettmaßen*. In: Knußmann R (ed) *Anthropologie*, Bd I, 1. Fischer, Stuttgart, S 586–599
23. Rothschild MA, Krug B, Riepert T (2001) *Postmortale Röntgendiagnostik in der Rechtsmedizin*. *Rechtsmedizin* 11: 230–243

ier steht eine Anzeige.

Springer

24. Schmittbuhl M, Minor JM le, Taroni F, Mangin P (2001) Sexual dimorphism of the human mandible: demonstration by elliptical Fourier analysis. *Int J Legal Med* 115: 100–101
25. Schultz M (1988) Paläopathologische Diagnostik. In: Knussmann R (Hrsg) *Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen*, Bd I. Fischer, Stuttgart, S 480–496
26. Thali M, Braun M, Buck U et al. (2005) Virtopsy – Scientific documentation, reconstruction and animation in forensic: individual and real 3D data based geo-metric approach including optical body/object surface and radiological CT/MRI scanning. *J Forensic Sci* 50: 428–442
27. Thali MJ, Yen K, Plattner T et al. (2002) Charred body: virtual autopsy with multi-slice computed tomography and magnetic resonance imaging. *J Forensic Sci* 47: 1326–1331
28. Thali MJ, Yen K, Schweitzer W et al. (2003) Virtopsy, a new imaging horizon in forensic pathology: virtual autopsy by postmortem multislice computed tomography (MSCT) and magnetic resonance imaging (MRI) – A feasibility study. *J Forensic Sci* 48: 386–403
29. Todd TW (1921) Age changes in the pubic bone. *Am J Phys Anthropol* 3: 285–334
30. Trotter M, Gleser GC (1952) Estimation of stature from long bones of American Whites and Negroes. *Am J Phys Anthropol* 10: 463–514
31. Ubelaker DH (1989) *Human skeletal remains*, 2nd edn. Taraxacum Press, Washington DC
32. Ubelaker DH (1989) The estimation of age at death from immature human bone. In: Iscan MY (ed) *Age markers in the human skeleton*. Thomas, Springfield, Illinois, pp 55–70
33. Ubelaker DH, Volk CG (2002) A test of the phenice method for the estimation of sex. *J Forensic Sci* 47: 19–24
34. Uysal S, Gokharman D, Kacar M et al. (2005) Estimation of sex by 3D CT measurements of the foramen magnum. *J Forensic Sci* 50: 1310–1314
35. Vallois HV (1937) La durée de la vie chez l'homme fossile. *L' Anthropologie* 47: 499–532
36. Verhoff MA, Kreutz K (2005) Macroscopic findings on soil-embedded skeletal remains allowing the exclusion of a forensically relevant lay time. In: Tsokos M (ed) *Forensic pathology reviews*, vol 3. Humana Press, Totowa, New Jersey, pp 239–252
38. Verhoff MA, Wiesbrock UO, Kreutz K (2004) Makroskopische Befunde zum Ausschluss einer forensisch relevanten Liegezeit bei Knochenfunden – eine Literatursauswertung. *Arch Kriminol* 213: 1–14
37. Verhoff MA, Ramsthaler F, Krähhahn J et al. (2007) Digital forensic osteology – Possibilities in cooperation with the Virtopsy<sup>®</sup> Project. *Forensic Sci Int* (in press)
39. Wahl J, Graw M (2001) Metric sex differentiation of the pars petrosa ossis temporalis. *Int J Legal Med* 114: 215–223
40. Wiegand P, Rolf B (2003) Analyse biologischer Spuren, Teil II: DNA-Typisierung. *Rechtsmedizin* 13: 375–383
41. Wolf-Heidegger G (1954) *Atlas der systematischen Anatomie des Menschen*, Bd 1. Karger, Basel
42. Zollikofer CP, Ponce de Leon MS, Lieberman DE et al. (2005) Virtual cranial reconstruction of Sahelanthropus tchadensis. *Nature* 434: 755–759