

FORMEN UND FAKTOREN DES ALTERNS DES SKELETTS

B. A. NIKITJUK

Der Gesundheitsschutz älterer und alter Menschen und die Verhütung des vorzeitigen Alterns setzen eingehende Kenntnisse der Biologie des Alterns voraus. Bei dem Studium der Formen und Faktoren des Alterns nähern wir uns ständig der Erfüllung eines uralten Traumes der Menschheit — das Tempo der Wandlungen des alternden Organismus vorauszusehen und zu regeln.

Das Altern des Skeletts beginnt frühzeitig; bei pathologischen Vorgängen schränkt es die Funktion der Gelenke ein, führt zu Knochenbrüchen und macht den Menschen zum Invaliden. Über die Verbreitung derartiger Vorgänge informiert uns die amerikanische Statistik:

In den USA leiden mindestens 1,6 Millionen Frauen an symptomfreien Wirbelbrüchen (R. W. Smith, J. Rizek, 1966). Mehr als 4 Millionen erwachsene Amerikaner haben Osteoporose (L. Lutwik, G. D. Whedon, 1962). Von 111 Millionen Bewohnern der USA sind 40 Millionen in Gefahr an Osteoarthritis zu erkranken, die die Altersinvolution der Gelenke beschleunigt (J. Roberts, T. A. Burch, 1966).

Krankheiten und Beschädigungen der Knochen verursachen zahlreiche Beschwerden alter und greiser Menschen. Deshalb ist das Studium der Altersänderungen des Skeletts, aus denen Erkrankungen entstehen, eine der aktuellen Aufgaben der modernen theoretischen und praktischen Medizin. Allerdings bleiben manche Aspekte dieses Anliegens vorläufig ungeklärt, was u. a. auf methodische Schwierigkeiten zurückzuführen ist. Man untersucht nämlich das Altern der Knochen bei verschiedenen Populationen bisher meist mit Hilfe einmaliger Querschnittuntersuchungen. Systematische langfristige Untersuchungen identischer Individuen nehmen die Anatomen vor allem beim Studium beruflicher Besonderheiten der Entwicklung des Skeletts (Schule M. G. Prives) und die Gerontologen zur Kontrolle neuer Heilmethoden vor (P. A. Sekunin), ohne daß man diese Untersuchungen in vollem Umfang bei Arbeiten einsetzt, die die Biologie des Alterns des Knochen betreffen.

Bisher haben die Untersuchungen der Altersdynamik des Blutdrucks und der Körpermasse unterschiedliche Ergebnisse bei einmaligen Querschnittuntersuchungen und langfristigen Forschungen ge-

bracht (J. Angel, 1960; T. Bjerkedal und H. Natwig, 1966). Es ist deshalb riskant, das Altern der Knochen bloß nach den Ergebnissen von Querschnittuntersuchungen zu beurteilen. Bei der Deutung von Angaben einmaliger und langfristiger Untersuchungen hat man Umstände zu berücksichtigen, die eine objektive Wertung der Tatsachen erschweren. Es sind die sogenannten zeitgegebenen Unterschiede der morphologischen Merkmale bei Menschen verschiedener Generation, die sich in den Ergebnissen einmaliger Querschnittuntersuchungen spiegeln. Sie beeinflussen auch die Ergebnisse langfristiger Beobachtungen, und zwar durch Änderungen der untersuchten Gruppen infolge von Todesfällen mancher Personen oder der Weigerung anderer Personen, sich mehrmals untersuchen zu lassen. Das führt zu der Forderung, die zeitgegebenen Änderungen der Strukturen kennenzulernen, deren Altern analysiert werden soll, und die Geschehnisse der Personen zu verfolgen, die wiederholt untersucht wurden.

Vorläufig würde das Altern der Knochen vom Gesichtspunkt der Anthropologie, einer Wissenschaft, die mit dem Alter zusammenhängende, ethnische, sexuelle, konstitutionelle und andere Arten der Änderungen in der Zusammensetzung des Körpers kennt, noch nicht in der erforderlichen Weise analysiert. Mit anderen Worten: die methodischen Grundsätze der Anthropologie, d. i. die systematische Untersuchung umfangreicher Populationsgruppen, die quantitative Wertung der beobachteten Änderungen und die Verwendung variationsstatistischer Methoden bei der Bearbeitung der Ergebnisse, wurden bisher bei dem Studium des Alterns der Knochen nicht folgerichtig ausgewertet. Man könnte annehmen, als wären wenigstens die Änderungen der Alterssymptome gut studiert worden. Allein die einmaligen Querschnittforschungen vermögen in dieser Hinsicht keine genauen Vorstellungen zu vermitteln. Die sexuellen Unterschiede wurden nur bei den Altersänderungen der Handfingerglieder eingehend untersucht: bei Frauen sämtlicher Altersgruppen sind sie markanter als bei Männern (D. G. Rochlin, 1936). Die sexuellen Unterschiede der Altersänderungen sind bei anderen Teilen des Skeletts schon weniger gut bekannt. So hat es beispielsweise D. G. Rochlin (1963 a)

unterlassen, die wesentlichen Unterschiede festzustellen, die zwischen dem Altern der Knochen des Ellbogengelenks bei Männern und Frauen bestehen.

In der Literatur sind Ansichten über die Heterogenität der Entwicklung der Alterssymptome bei verschiedenen Teilen des Skeletts verbreitet. Leider hat bisher niemand statistische Wertungen der Beziehungen vorgenommen, die zwischen den verschiedenen Symptomen des Alters herrschen.

Auch das Studium der Beziehungen zwischen dem Bau des menschlichen Körpers und den Altersänderungen des Skeletts blieb unzureichend. Es kann doch kein Zweifel daran herrschen, daß beispielsweise die Körperproportionen und der Grad der Fettablagerung das Altern der statisch beanspruchten Knochen, wie es die Epiphysen des Schenkel- und Schienbeins im Hüft- und Kniegelenk sind, wesentlich beeinflussen (S. B e t u r n é, 1960). Je stärker die Fettablagerung und je (relativ) länger der Rumpf ist, desto mehr werden die genannten Knochen beeinflußt und desto rascher altern die Gelenkenden. Wie das Altern der übrigen Knochenpartien und der Mikrostruktur des Knochengewebes verläuft, ist nicht bekannt.

Widersprechende Meinungen äußert man bei jenen Teilen des Skeletts, die keinen Belastungen unterworfen sind, vor allem bei den Knochen der Hand. Manche Autoren bestreiten Zusammenhänge zwischen dem Tempo ihres Alterns und dem Grad der Belastung, bzw. der Fettablagerung überhaupt (R. Stecher, 1955), andere konzedieren wenigstens teilweise Wechselwirkungen (J. Kellgren und J. Lawrence, 1958). Das Altern anderer Knochen der proximalen Gliedmaßen wurde in diesem Zusammenhang noch überhaupt nicht verfolgt. Man kann deshalb Beziehungen zwischen dem Körperbau und dem Altern jener Teile des Skeletts, die keiner statischen Beanspruchung unterliegen, kaum als bewiesen annehmen.

Bei der Untersuchung der konstitutionellen Ingerenzen auf das Altern der Knochen hat man die Rolle des mechanischen Faktors eingehend zu berücksichtigen. Es scheint selbstverständlich zu sein, daß eine erhöhte, zur Hyperfunktion der Knochen führende Beanspruchung das Altern ihrer Gelenkpartien beschleunigt. Dies wird von Beobachtungen bestätigt, die bei Stahlschmelzern, Menschen, die mit vibrierenden Geräten arbeiten, aber auch bei Ballettkünstlern oder Fußballspielern angestellt wurden (W. Arens, 1955; R. Kohler, 1955; C. Axt, 1960; M. Fusco, E. Puggi, A. Rossi, G. Sessa 1963). Allerdings äußert sich auch die Hypofunktion der Gliedmaßen ungünstig, weil sie die Atrophie der Knochenmasse intensiviert („Untätigkeits-Osteoporose“) und das Altern der Gelenkenden beschleunigt (M. G. Prives, 1959; G. D. Rochlin, 1963; K. I. Maschka, 1966).

Aus dem Studium der Literatur ergaben sich folgende Aufgaben:

1. Die durch Lebensalter, Geschlecht und Konstitution gegebenen Besonderheiten des Alterns des

menschlichen Skeletts im Rahmen der Population zu studieren;

2. Einige lokale Besonderheiten des Alterns des Skeletts im Zusammenhang mit ihrer mechanischen Beanspruchung zu analysieren.

MATERIAL UND METHODE DER UNTERSUCHUNG

Die medizinisch-anthropologische Untersuchung wurde bei der russischen Bevölkerung Moskaus (teilweise in Altersheimen), des Dorfes Poretschje-Rybnoje im Bezirk Rostow, Rayon Jaroslavsk, und in Duschambe durchgeführt. Personen tadschikischer Nationalität wurden im Kischlak Tschorku des Isfarinischen Bezirks, Rayon Leninabad, Personen tadschikischer und usbekischer Nationalität in Duschambe untersucht. Die anthropometrische Analyse des Alterns des Skeletts haben wir im Querschnitt bei 4199 Männern und Frauen im Alter von 20–105 Jahren und langfristig bei 403 dieser Probanden vorgenommen.

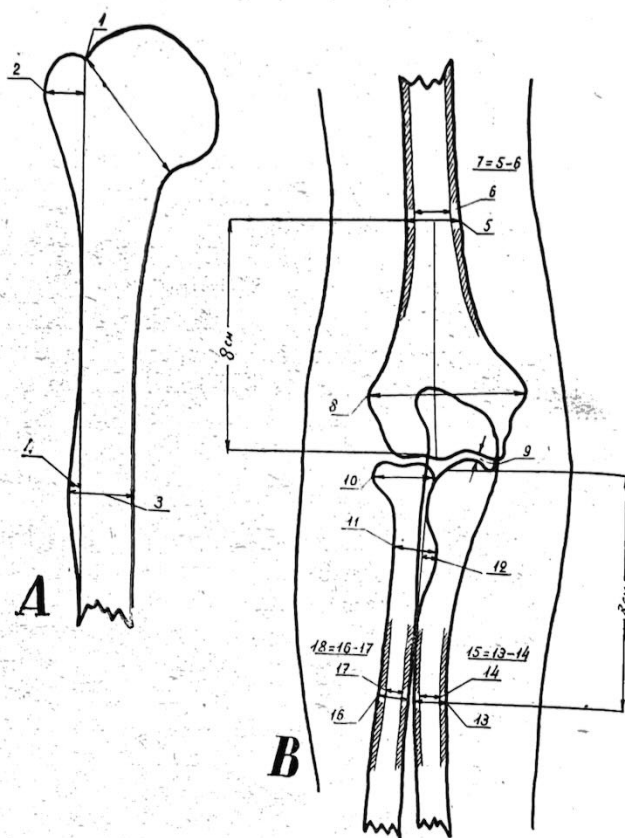


ABB. 1

Schema der Messungen des Oberarmbeins, der Elle und Speiche.

Gemessen wurden (mit Martins Anthropometer) die Körperhöhe, die Höhe der Punkte acromion, radiale, stylium, phalangion, dactylium, jugulare, symphysis, iliospinale ant., iliocristale, tibiale und sphyriion.

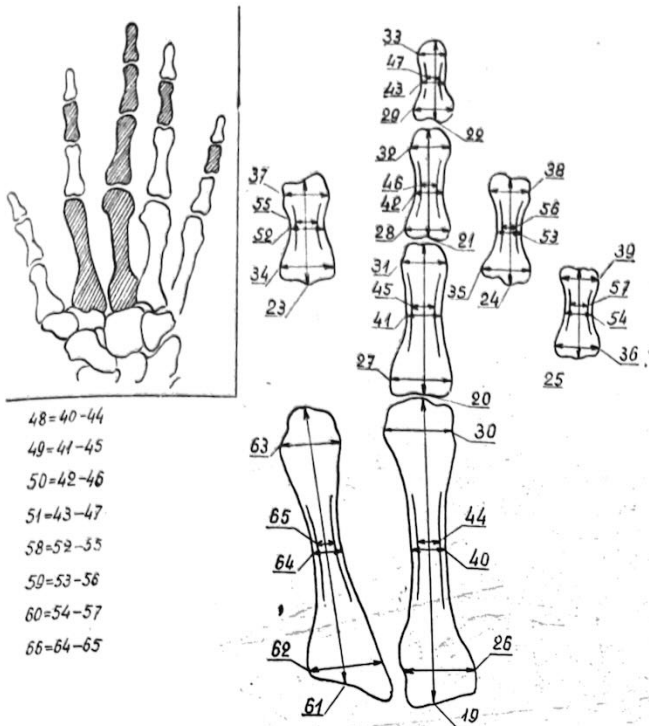
Mit dem Pelvimeter maßen wir die bicristale und bispinale Breite des Beckens, seinen sagittalen Durchmesser, die Breite der distalen Epiphysen des Oberarm- und Schenkelbeins, der Knochen des

Unterarms und Unterschenkels, und die Handbreite. Die Länge und Breite des Fußes wurde abgelesen, und mit einer Schublehre die Dicke des Unterhautfettgewebes unter dem rechten Schulterblattwinkel (vertikal und horizontal) und über dem rechten Hüftbeinkamm festgestellt. Den Umfang im oberen

Drittel des Schenkels ermittelten wir mit einem Meßband und bestimmten auf einer medizinischen Waage das Körpergewicht. Alle Messungen wurden in der ersten Tageshälfte vorgenommen.

Außerdem werteten wir Daten von 6412 Frauen im Alter von 25–40 Jahren für das Studium der zeitgegebenen Änderungen der Körperhöhe und Beckenmaße von den Jahren 1874 bis 1963 aus. Diese Frauen waren in die Gebärklinik der medizinischen Fakultät der Moskauer Universität (später I. Moskauer medizinisches Institut) mit normalen, rechtzeitigen Geburten eingeliefert worden, die mit der Geburt gesunder, ausgetragener Kinder endeten. Die Körperhöhe und die Beckenmaße entnahmen wir den Vermerken über den Verlauf der Geburten. Bearbeitet wurden Daten aus 71 Jahren, die wir in 57 Gruppen einreichten. Die Zahl der Beobachtungen bewegte sich in jeder Gruppe zwischen 100 bis 200. Im Jahr 1963 nahmen wir 600 Beobachtungen vor.

Das Altern des Skeletts der Gliedmaßen wurde im Querschnitt bei 1063 Menschen im Alter von 20–105 Jahren und im Zeitraum von 5 Jahren wiederholt bei 700 dieser Probanden röntgenographisch studiert. Zu Vergleichszwecken verwendeten wir anthropometrisches Material über die Skelettentwicklung von 184 Kindern, Knaben und Mädchen im Alter von 9–18 Jahren. Einen Teil der Hand-Röntgenogramme übernahmen wir aus den Sammlungen des Anthropologischen D. N. Anutschin-Instituts der Moskauer Staatlichen M. V. Lomonosov-Universität. T. I. Aleksejewa und O. M. Pavlovskij sind wir für die Überlassung dieses Materials zu aufrichtigem Dank verpflichtet.



- 48=40-44
- 49=41-45
- 50=42-46
- 51=43-47
- 58=52-55
- 59=53-56
- 60=54-57
- 66=64-65

ABB. 2

Schema der Messungen der Handknochen.

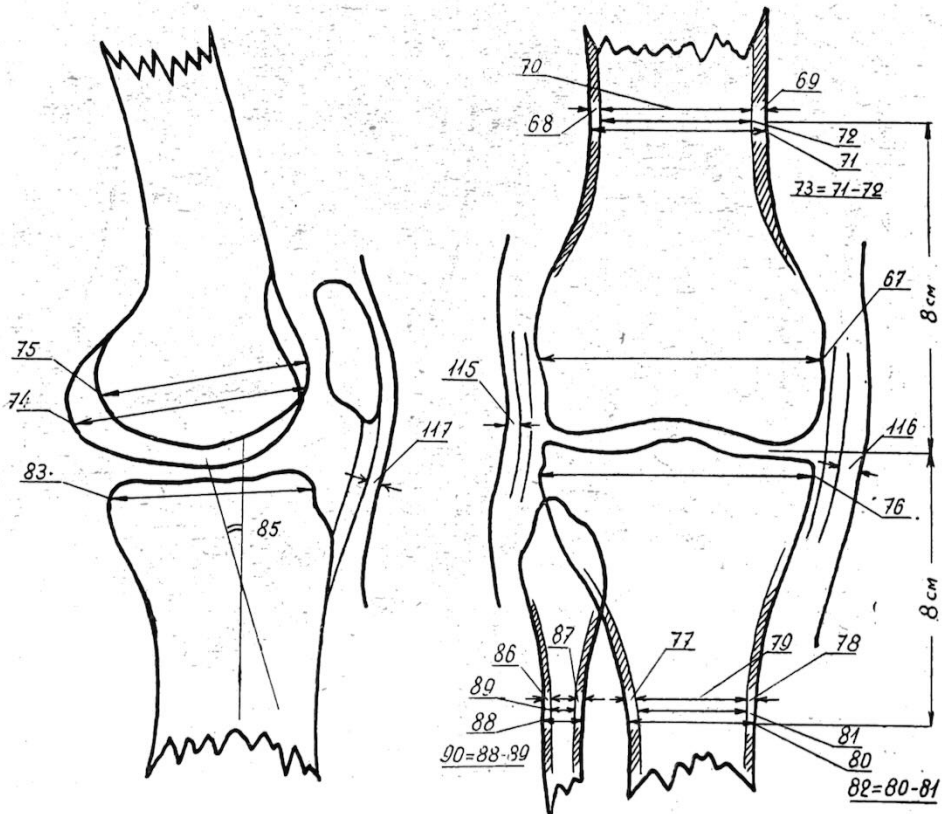


ABB. 3

Schema der Messungen des Schenkel-, Schien- und Wadenbeins.

Die Beschreibungen der Röntgenogramme der rechten und linken Hand, des rechten Fußes, Schulter-, Ellbogen- und Kniegelenks umfaßten osteometrische, osteoskopische und röntgenphotometrische Daten. Nach den Röntgenogrammen dieser Körperteile wurden insgesamt 121 metrische und 128 morphologische Merkmale bei erwachsenen Personen festgestellt. Bei den Röntgenogrammen der Hand und des Fußes berücksichtigten wir die Stufe der Ossifikation und das Verwachsen der Epiphysen.

Eine Übersicht der Messungen an den Röntgenogrammen der erwähnten Knochen findet man auf den Abbildungen 1—4, die Abbildungen 5—7 bringen Ergebnisse des röntgenoskopischen Studiums. Die Dichte der Knochensubstanz an vier Punkten des distalen und mittleren Glieds des dritten Handfingers (Abb. 8) wurde nach dem Vergleich mit einem Knochenkeil bekannter Dichte bestimmt (T. I. Aleksejewa, N. S. Smirnova, O. M. Pavlovskij, 1963).

Die Messungen der Knochenumrisse nahmen wir

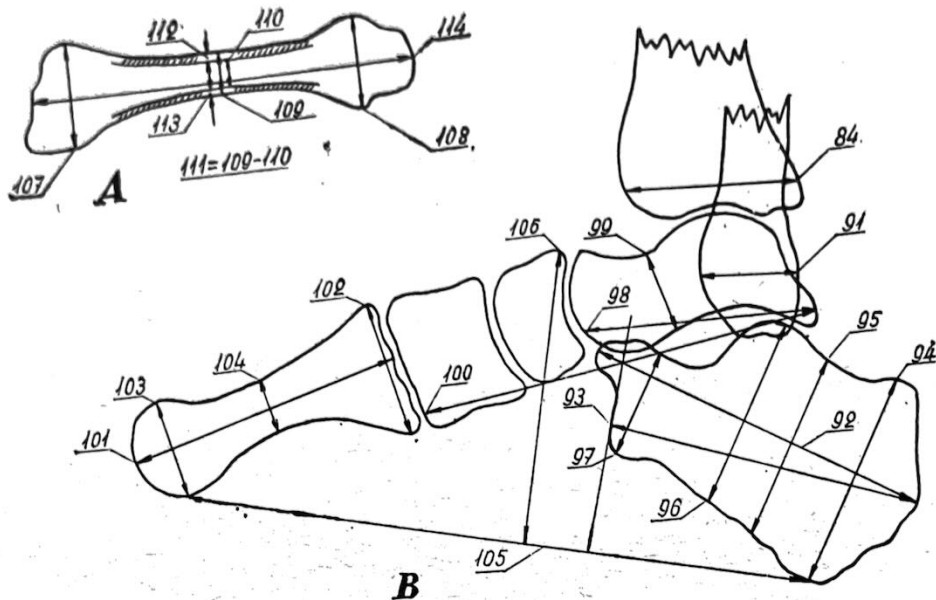


ABB. 4

Schema der Messungen der Unterschenkel- und Fußknochen.

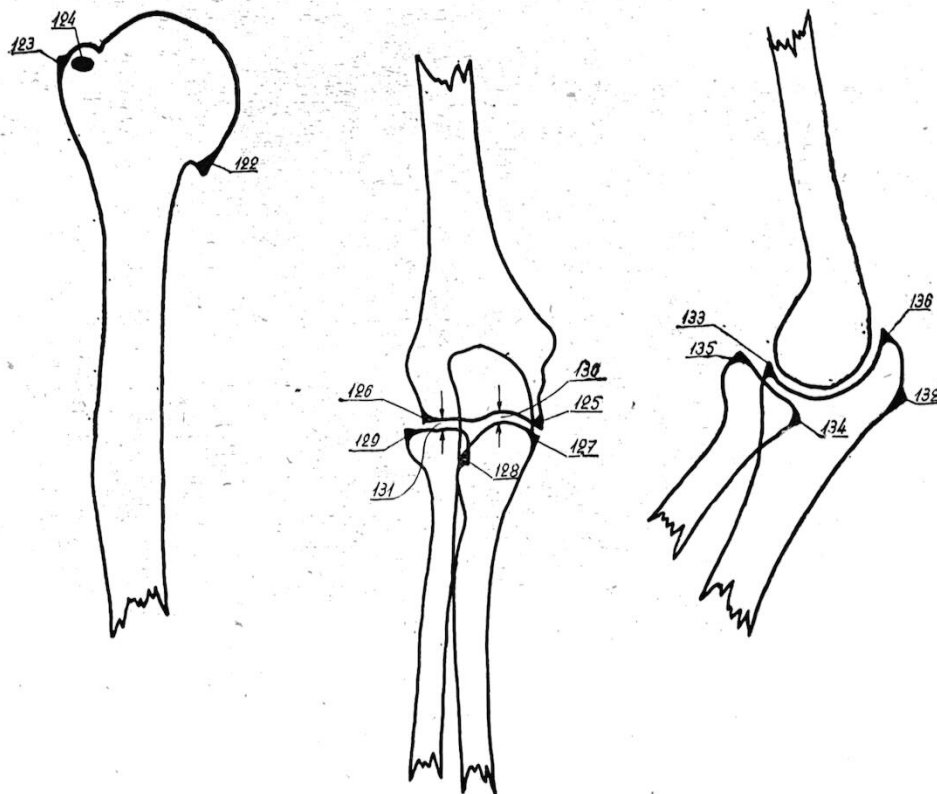


ABB. 5

Osteoskopisch festgestellte Symptome des Alterns des Oberarmbeins, der Elle und Speiche.

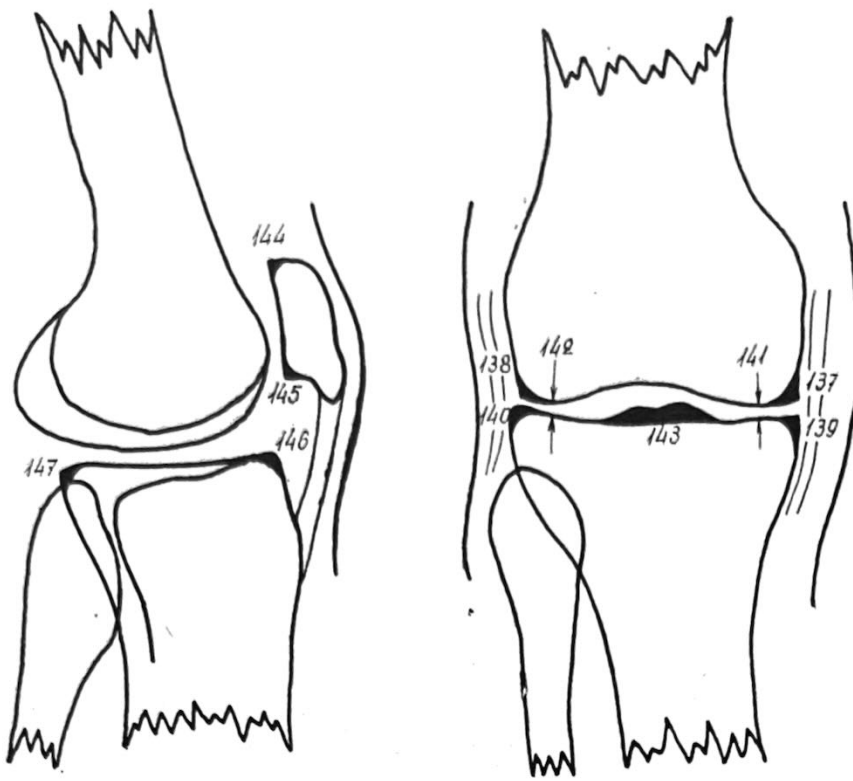


ABB 6.

Osteoskopisch festgestellte Symptome des Alterns des Schenkel-, Schienbeins und der Patella.

mit einer Schublehre auf 0,1 mm Genauigkeit vor, und drückten die morphologischen Merkmale in Punkten aus. Die Entwicklungsstufe der Osteophyten und subchondralen Sklerose, die zystösen Änderungen der Knochen und die röntgenologisch festgestellte Verschmälerung der Gelenklücke wurden nach einem Vierpunktesystem gewertet. Bei 0 Punkten kommen Osteophyten überhaupt nicht vor, bei 1 Punkt äußern sie sich schwach, bei 2 Punkten merklich und erreichen bei 3 Punkten beträchtliche Größen (Abb. 9).

Das Reifen und Altern des Skeletts wurde im Zusammenhang mit dem Bau und der Zusammensetzung des Körpers, d. i. mit den Körperproportio-

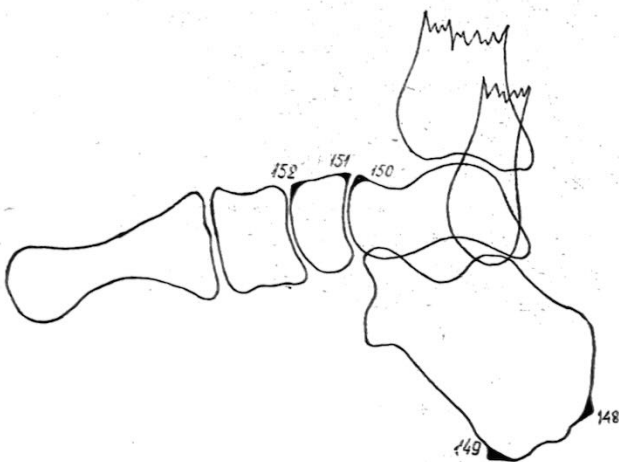


ABB. 7

Osteoskopisch festgestellte Symptome des Alterns des Fersen-, Sprung- und Kahnbeins.

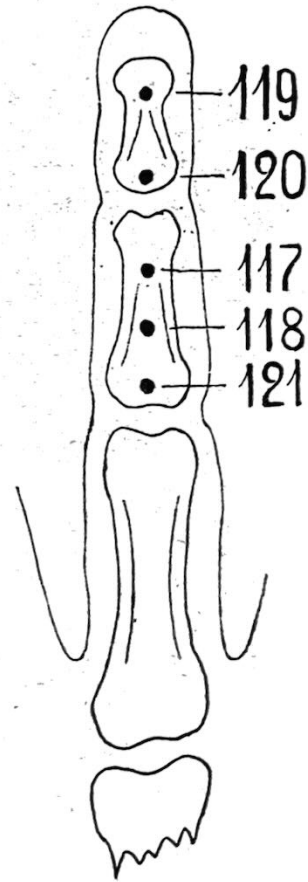


ABB. 8

Die Punkte, an denen die densitometrische Wertung der Dichte der Glieder des Handmittelfingers vorgenommen wurde.

nen und dem Grad der Fettablagerung, beurteilt. Der Grad der Fettablagerung wird von der Dicke des Unterhautfettgewebes, durch somatometrische Daten und röntgenographische Messungen am Kniegelenk charakterisiert. Man wertet ihn im Zusammenhang mit dem prozentualen Verhältnis des Schenkelumfangs zur Körperhöhe und der Körperhöhe zur dritten Wurzel aus dem Körpergewicht. Die Körperproportionen charakterisieren die Indexe der relativen Körperhöhe, Schulter- und Beckenbreite, wobei die Relationen der Rumpflänge und Schulterbreite zur Körperhöhe 100 %, der bicristalen Beckenbreite zur Beinlänge ebenfalls 100 % entsprechen. Das Altern der Haversschen Systeme wurde an Schenkelbeinschliffen von 44 Leichen 40–80 Jahre alter Männer und 6 Frauen derselben Altersgruppe im Zusammenhang mit ihrem Körperbau studiert. Unter dem Okularmikroskop bestimmten wir die Menge der Osteone pro 1 mm² Kompaktasubstanz, die durchschnittlichen Größen der Osteone und der Haversschen Kanäle, die durchschnittliche Zahl der konzentrischen Knochenplättchen in der Osteonwand und die durchschnittliche Stärke der Schicht der äußeren gemeinsamen Plättchen. Der Körperbau der Leichen wurde nach dem Verhältnis der Rumpflänge zur Körperhöhe und nach der Dicke des Unterhautfettgewebes bestimmt, die wir in der Nabelgegend, an der Mediallinie zwischen der III. und IV. Rippe und an der vorderen Seite des rechten Schenkels maßen.

Das Altern des Schädels wurde im Verwachsungsgrad der Schädelnähte ausgedrückt. Den Zustand von 84 Schädelnähten und Schädelnahtabschnitten untersuchten wir bei Schädeln von 245 Männern russischer und armenischer Nationalität und bei Tschuktschen, Burjaten und Tuwinzen beider Geschlechter. Die Obliterationsstufe der Nähte wurde nach Brocas System gewertet: 0 – Nähte geöffnet, I – zu $\frac{1}{4}$ der Länge und weniger verwachsen, II – zur Hälfte der Länge verwachsen, III – die Obliteration hat $\frac{3}{4}$ der Nahtlänge erfaßt und IV – die Naht ist vollständig obliterated.

Bei der Bearbeitung der Daten wurden die Methoden der Variationsstatistik eingesetzt, wir bestimmten nämlich die Mittelwerte, die quadratischen Abweichungen, die Variationskoeffizienten und ihre Fehler. Die Signifikanz der statistischen Unterschiede werteten wir nach dem Maß, in dem sie die Quadratwurzeln aus der Summe der zweiten Potenz der maßgebenden Fehler überschritten. Wir ermittelten auch die Korrelationskoeffizienten und die Indikatoren der polychorischen Abhängigkeit. Nach Schmalhausens und Brodis Formel wurden die spezifischen Geschwindigkeiten des periostalen Knochenaufbaus und des endoostalen Knochenabbaus als Unterschiede zwischen den logarithmischen Zehntelwerten der Maße bei der ersten und wiederholten Untersuchung bestimmt, die je nach der Zahl der zwischen den Untersuchungen liegenden Jahre durch den Koeffizienten 0,4343 geteilt wurden.

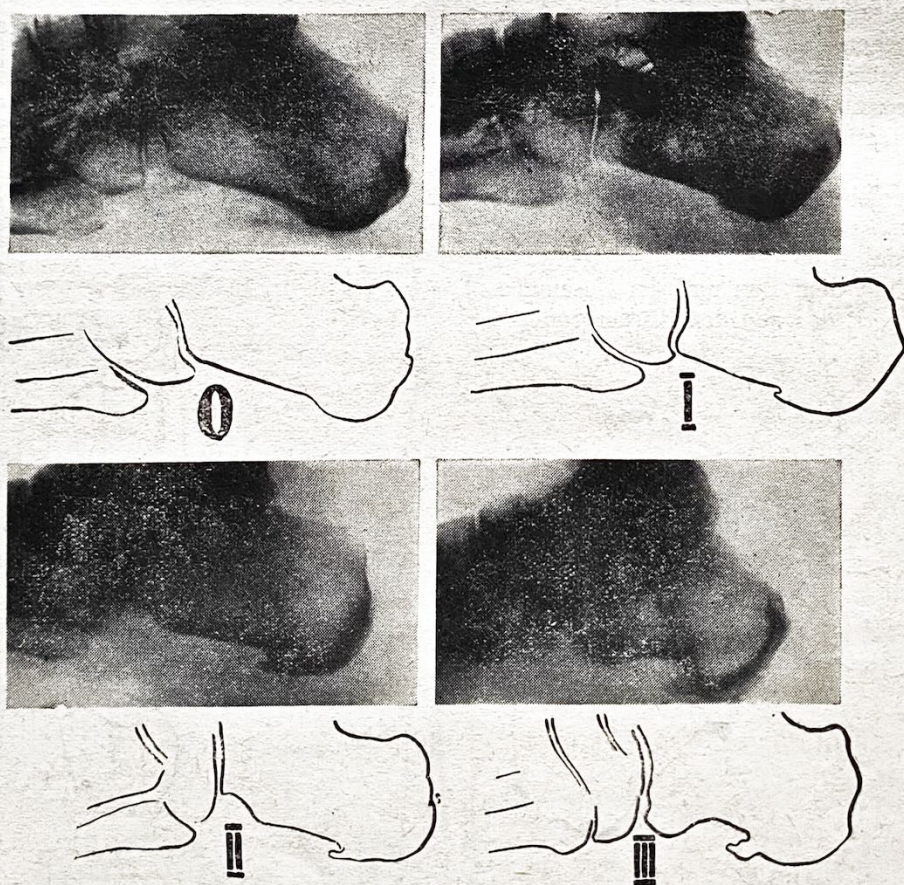


ABB. 9

Wertung der Größe der Osteophyten an der Ansatzstelle des langen Fußsohlenbandes.

DAS ALTERN DES SKELETTS NACH DEN
 ERGEBNISSEN DER ANTHROPOMETRISCHEN
 QUERSCHNITTUNTERSUCHUNG

Auf die Gesamtgröße des Skeletts und die Größe seiner einzelnen Segmente kann man nach den Ergebnissen der anthropometrischen Messungen schließen, die zwischen Skelettpunkten abgelesen werden, welche sich unter der Haut unschwer abtasten lassen.

Bei den Bewohnern Moskaus nimmt die Länge des Skeletts (Entfernung zwischen dem Scheitelpunkt (vertex) des Schädels und der Fußsohlenfläche (im Stehen gemessen) bei den Männern nach dem 30., bei den Frauen nach dem 25. Lebensjahr ab. Zwischen 21—25 und 56—65 Jahren verkürzt sich das Skelett der Männer von durchschnittlich 171,8 auf 167,4 cm, d. i. um 2,6 %, bei Frauen von durchschnittlich 159,0 auf 156,4 cm, d. i. um 1,6 % der ursprünglichen Länge. Dagegen verkürzt sich das Skelett bei Frauen zwischen 61—70 und 81—85 Lebensjahren um 2,6 %, bei Männern zwischen 60—69 und 80—89 Lebensjahren um 1,7 %, der Gesamtlänge. Das bedeutet daß die Verkürzung des Skeletts ist also bei Männern im reifen Alter, bei Frauen im höheren und Greisenalter markanter. Bei älteren und alten Männern hängt diese Erscheinung im wesentlichen mit der Verkürzung der unteren Gliedmaßen, bei Frauen mit der Verkürzung der Wirbelsäule zusammen. Im Alter zwischen 50—60 und 86—95 Jahren verkürzen sich bei Frauen die unteren Gliedmaßen stärker (um 5,1 %) als die oberen (um 2,8 % der ursprünglichen Länge); der Schenkel verkürzt sich stärker als der Oberarm, der Unterarm stärker als der Unterschenkel, der Fuß stärker als die Hand.

Die bicristale Beckenbreite vergrößert sich im höheren und hohen Alter sowohl bei Männern als auch bei Frauen: bei Männern zwischen 70—79 und 80—89 Jahren von $28,6 \pm 0,2$ cm auf $29,5 \pm 0,4$ cm (Abb. 10). Die Conjugata externa des Beckens verringert sich bei Frauen mit zunehmendem Alter. Die Breite der distalen Knochenepiphysen des Unterarms und Unterschenkels vergrößert sich bei Frauen zwischen 50—60 und 71—85 Jahren, um später wieder abzunehmen. Die Breite der distalen Knochenepiphysen des Unterarms verringert sich bei Männern zwischen 60—69 und 80—89 Jahren unmerklich, nach dem 90. Lebensjahr beträchtlich (Abb. 10).

Zwischen 56—60 und 86—95 Jahren verringert sich die Handbreite der Frauen um 7 %, die Fußbreite um 2,7 % der ursprünglichen Werte. Der Fußindex (prozentuale Beziehung zwischen der Fußbreite und Fußlänge) vergrößert sich bei Frauen zwischen 56—69 und 86—95 Jahren von 38,6 auf 39,2. Dementsprechend geht der Handindex von 43,8 auf 40,8 zurück. Im Verlauf des Alterns kommt es also zu einer relativen Verbreiterung des Fußes und einer relativen Verschmälerung der Hand.

Bemerkenswert ist die hohe Variabilität der Skelettmaße im höheren und hohen Alter. Wenn die Variationskoeffizienten der Körperhöhe bei 20—55

Jahre alten Moskauer Männern und Frauen 3,04—3,80, bzw. 2,96—3,36 betragen, dann erreichten sie bei Männern zwischen 60—80 Jahren und bei Frauen zwischen 56—75 Jahren Werte von 3,47—4,04, bzw. 3,37—4,93.

Das Altern des Skeletts äußert sich bei Frauen im Vergleich mit Männern in einer stärkeren metrischen Variabilität. Bei Männern der höheren Alters-

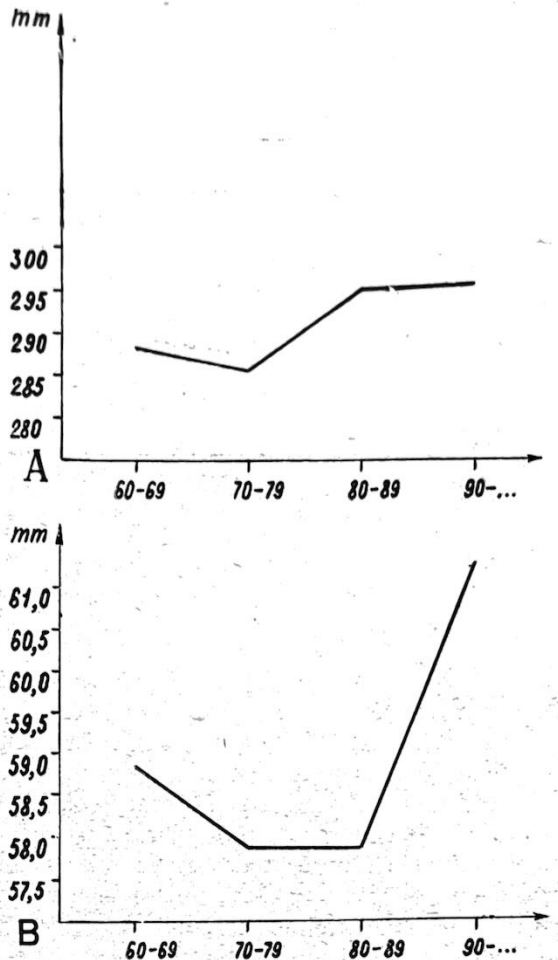


ABB. 10

Altersänderungen der bicristalen Beckenbreite (A) und der Breite der distalen Epiphysen der Unterarmknochen (B) bei russischen Männern aus Moskau.

klassen schwankte z. B. der Variationskoeffizient der Fußlänge von 4,94—5,90, bei Frauen von 5,14—6,33, der Variationskoeffizient der Körperhöhe variierte bei Männern derselben Altersklassen zwischen 3,47—4,20, bei Frauen zwischen 3,89—4,93. Im reifen Alter war dagegen die Variabilität der Körperhöhe bei Männern stärker. Unserer Meinung nach hängt die Erhöhung der Variabilität mit der Beschleunigung des Alterns zusammen, weil diese verschiedene Intensitäten der Altersänderungen zur Folge hat. Angesichts der Alters- und Geschlechtsunterschiede der metrischen Variabilität kann man voraussetzen, daß sich im höheren und Greisenalter die Meßwerte des Skeletts intensiver ändern als im Reifealter und daß die Änderungen dieser Werte mit zunehmendem Alter bei Frauen aktiver verlaufen als bei Männern.

Die bei Querschnittuntersuchungen konstatierten Besonderheiten des Skelettbaus können sich als

Altersunterschiede im Wachstum und Altern der Knochen äußern. Wir werden in diesem Zusammenhang die Änderungen der Skelettlänge und der Beckenmaße bei Moskauer Frauen im Laufe der letzten Jahrzehnte verfolgen.

Die Skelettlänge von 25–40jährigen russischen Frauen vergrößerte sich seit 1914 bis 1963 durchschnittlich um 4,7 cm. Die bitrochantere und bicristale Beckenbreite war im Jahr 1963 gegenüber dem Jahr 1890 um 2,2 cm und 1,09 cm größer.

Frauen bestätigten, können sich bei der Interpretation der metrischen Änderungen des Körperskeletts auf verschiedene Weise äußern. Die Länge des Skeletts und die Breite des Beckens vergrößern sich von Generation zu Generation. Die Verringerung der Skelettlänge im Laufe des Alterns, die bei einer Querschnittuntersuchung der heutigen Population festgestellt wurde, kann also als eine ihrer Ursachen zeitgegebene Änderungen haben. Die bei der erwähnten Untersuchung konstatierte Verbreiterung

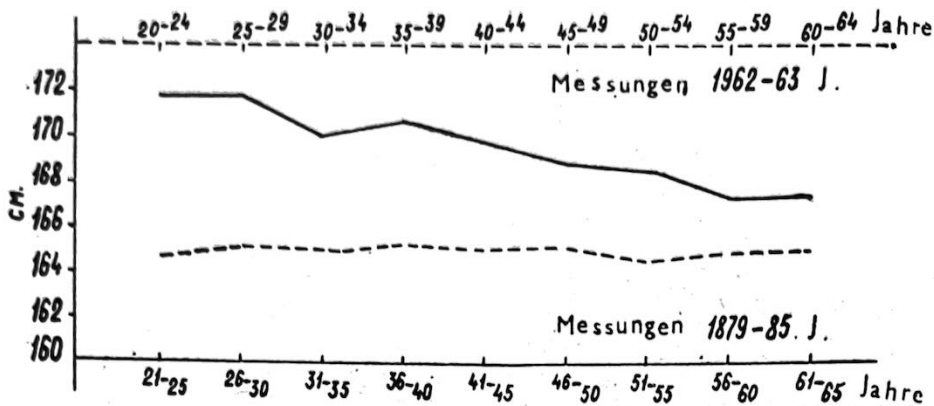


ABB. 11

Änderungen der Körperhöhe russischer Männer mit dem Alter nach Messungen E. F. Erismans (1879—1885) und unseren Forschungen (1962—1963).

Unsere Daten sprechen dafür, daß gegenwärtig keine stabile Phase der Körpermaße besteht, die für das vorige Jahrhundert von E. F. Erisman (1925) bestimmt wurde. Vor 80 Jahren unterschied sich die Skelettlänge der Männer von 26—50 Jahren um 0,4 cm, heute unterscheidet sie sich um 3,0 cm. Zugleich erreicht das Skelett der heutigen Moskauer Bevölkerung eine größere Länge als vor 80 Jahren. Die erhöhte Aktivität des Wachstums wird also gegenwärtig von einer früher einsetzenden und intensiveren Verringerung der Skelettlänge im Laufe des Alterns begleitet (Abb. 11).

Die zeitgegebenen Änderungen der Skelettlänge und Beckenmaße, die unsere Studien bei Moskauer

des Beckens mit zunehmendem Alter wäre bei nichtvorhandenen zeitgegebenen Änderungen höchstwahrscheinlich noch deutlicher gewesen.

Die Verringerung der Projektionslänge der unteren Gliedmaßen erklären wir mit ihrem Beugen in den großen Gelenken zum Zweck einer erhöhten Stabilität der Fortbewegung. Auf diese Weise wird die mit zunehmendem Alter eintretende Verschiebung des Körperschwerpunktes nach vorne kompensiert. Das dauernde unvollständige Beugen in den Gelenken verstärkt die Durchbiegung der Langknochen an der Grenze von Epiphyse und Diaphyse. Der Retroversionswinkel der proximalen Epiphyse des Schienbeins erhöhte sich bei Frauen zwischen 50—69 und 80—89 Jahren von 16,2° auf 19,9°.

Auch die Verringerung der Projektionslänge der oberen Gliedmaßen führen wir auf das übliche und dauernd unvollständige Beugen in den großen Gelenken zurück, die sich der Arbeitstätigkeit anpassen.

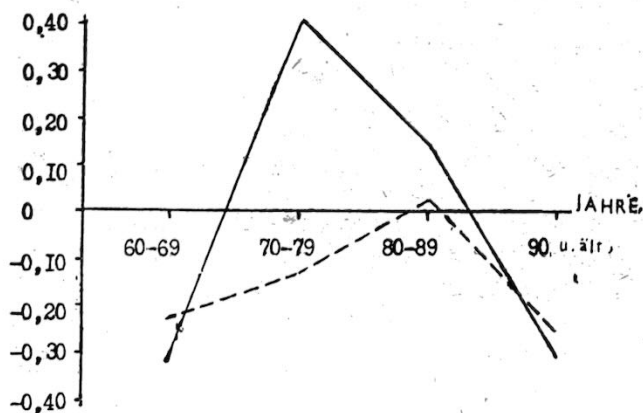


ABB. 12

Indexe der relativen Änderung der Körperhöhe von Frauen, die in den der Untersuchung folgenden zwei Jahren starben (gestrichelte Linie) und von Frauen, die in dieser Zeit am Leben bleiben (volle Linie).

DAS ALTERN DES SKELETTS NACH DEN DATEN EINER LANGFRISTIGEN ANTHROPOMETRISCHEN UNTERSUCHUNG

Bei Frauen aus Moskauer Altersheimen, die im Jahr 1964 und nochmals im Jahr 1965 untersucht wurden und dann in den Jahren 1965—1967 an unheilbaren chronischen Erkrankungen starben (I. Gruppe) oder am Leben blieben (II. Gruppe), verglichen wir die relativen metrischen Änderungen, die am Skelett im Laufe eines Jahres eingetreten

waren. Die Skelettlänge hatte sich bei drei von vier Altersklassen der I. Gruppe verkleinert und bei zwei von vier Altersklassen der II. Gruppe vergrößert (Abb. 12).

Wenn wir die Untersuchungsergebnisse bei Frauen der I. und II. Gruppe vergleichen, erkennen wir in der I. Gruppe bei manchen Gliedmaßenknochen einen niedrigeren Grad, bei anderen einen höheren Grad der Verschmälnerung als in der II. Gruppe. Bei 80-89 Jahre alten Frauen der I. Gruppe betrug die Vergrößerung des distalen Epiphysendurchmessers der Unterschenkelknochen 3,7 % gegenüber 5,4 % bei den Frauen der II. Gruppe. Im gleichen Alter verringerte sich die Breite der Epiphysen der Unterarmknochen bei Frauen der I. Gruppe um 0,08 %, bei Frauen der II. Gruppe dagegen um 0,88 % des ursprünglichen Wertes. Bemerkenswert ist die Verkleinerung der bicristalen Beckenbreite im Laufe eines Jahres, die bei Frauen der I. Gruppe markanter war als bei Frauen der II. Gruppe.

Bei einer gemischten Gruppe, die unabhängig von der Lebensprognose Frauen umfaßte, die wiederholt gemessen wurden, studierten wir den Einfluß des Alterns auf die im Laufe eines Jahres festgestellten metrischen Änderungen der Knochen. Die Intensität der relativen Vergrößerung oder Verkleinerung der Maßwerte während eines Jahres charakterisiert das Tempo des Alterns oder „Jüngerwerdens“ der Maße. Das Tempo dieser Änderungen ist bei den einzelnen Maßen verschieden: es nimmt bei der Verschmälnerung der Hand und der Verkleinerung der Distantia spinarum und Conjugata externa des Beckens zu und verringert sich bei der Verschmälnerung des Fußes mit zunehmendem Alter (Abb. 13).

Nach der Größe der Quadrate der mittleren maßgebenden Abweichungen zu schließen, die für die Maße des Skeletts bei den Frauen der gemischten Gruppe berechnet wurden, sind die relativen metri-

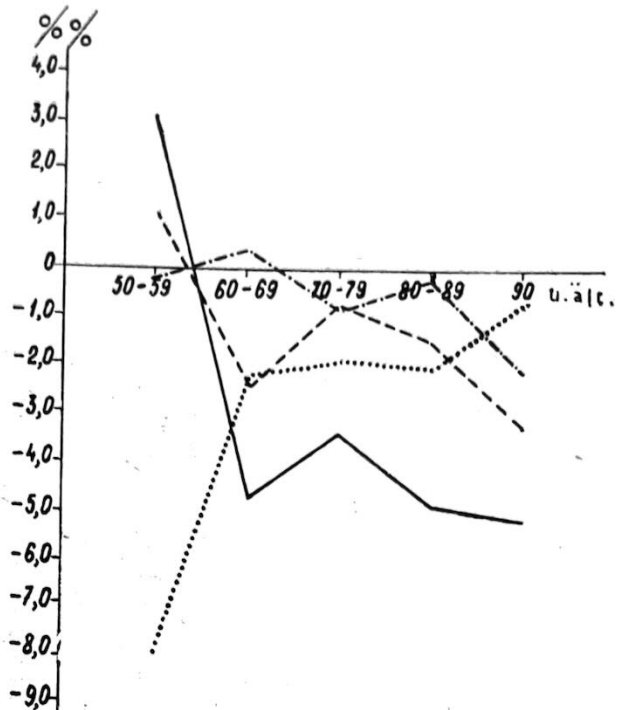


ABB. 13

Indexe der relativen Änderung der bispinalen Beckenbreite (gestrichelte Linie), der Fußbreite (punktierte Linie), der Handbreite (strichpunktierte Linie) und der Breite der Conjugata externa (volle Linie) einer gemischten Frauengruppe.

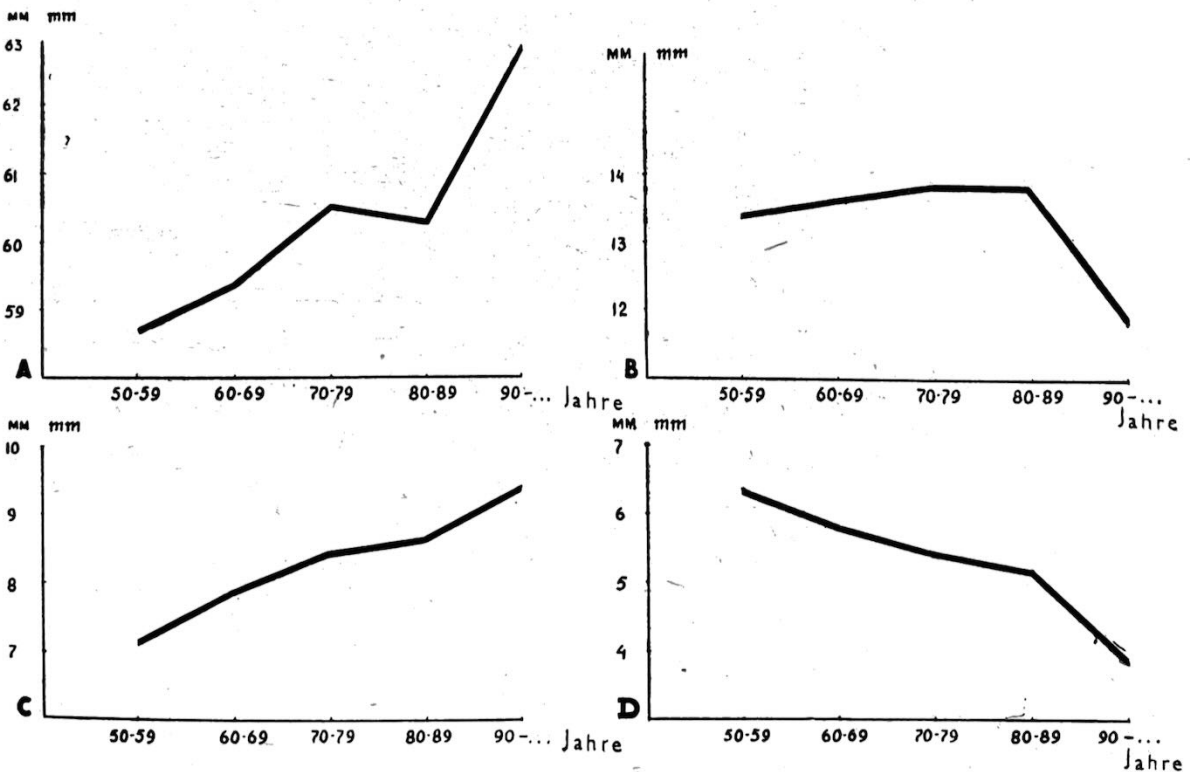


ABB. 14

Altersänderungen der Breite der distalen Epiphyse des Oberarmbeins (A), der Breite der Diaphyse der Elle (B), der Breite der Pulphöhle der Elle (C) und der Dicke der Kompakta der Elle (D) bei russischen Frauen aus Moskau.

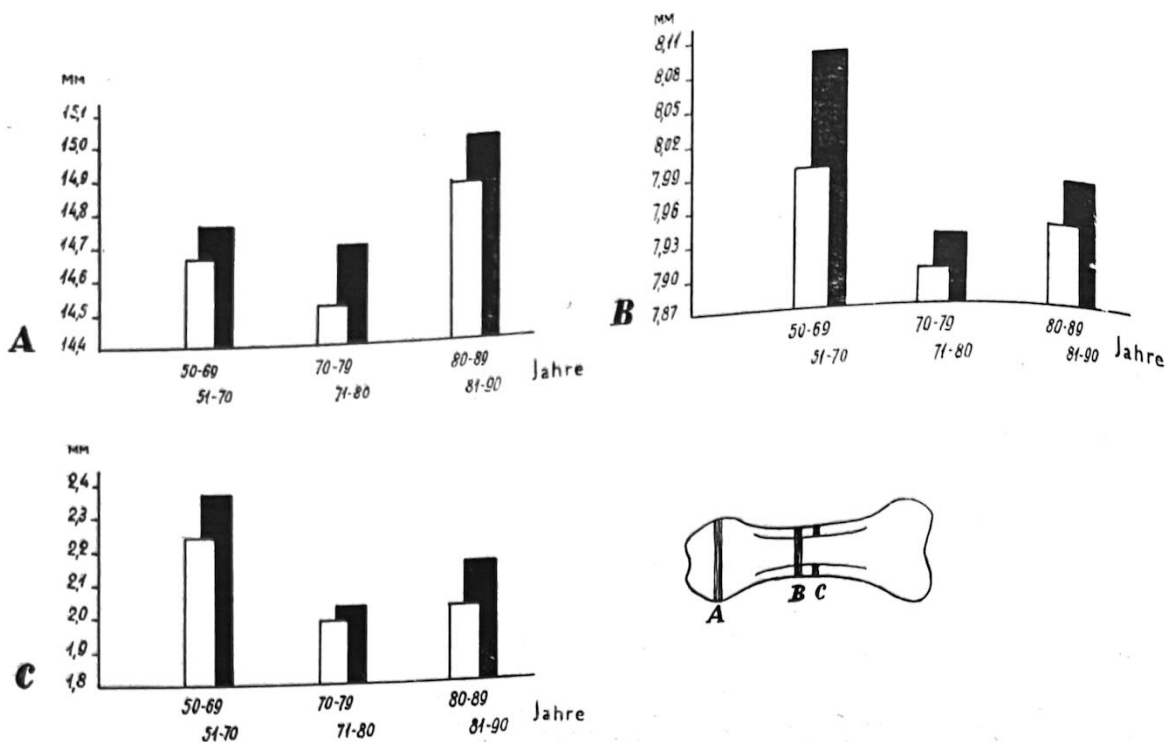


ABB. 15

Die Altersänderungen der Maße der Mittelglieder des III. Fingers russischer Frauen aus Moskau nach den Daten der Querschnittsforschung (weiß) und der langfristigen Populationsuntersuchungen (schwarz).

schen Änderungen der oberen Gliedmaßen (Länge des Unterarms, des Handgelenks mit Mittelhand und Mittelfinger, der Breite der Hand und des Gelenkkopfes des Oberarmbeins) im Laufe eines Jahres variabler als die Indikatoren der betreffenden Beinwerte (Länge des Unterschenkels und Fußes, Breite des Fußes und Gelenkkopfes des Schenkelbeins).

Die Frauen aus Moskauer Altersheimen zeigten also eine Rückentwicklung mancher Altersänderungen, die sich vor allem in der Vergrößerung der Körperhöhe äußerten. Die Änderungen des Skeletts im Altersprozeß hängen vom Gesamtzustand des Menschen ab. Wenn das Altern von einer zum Tod führenden Komplikation begleitet ist, kommt es zu keiner Verlängerung des Skeletts und die Verbreiterung der Epiphysen ist nicht so markant wie in den Fällen des unkomplizierten Alters.

Bei Querschnitt- und langfristigen Untersuchungen haben wir die Altersänderungen der Handknochen bei 435 russischen Männern und Frauen im Alter von 20—69 Jahren studiert (Bewohner des Dorfes Poretschje im Rayon Jaroslavsk) und bei 119 tadschikischen Männern und Frauen im Alter von 20—59 Jahren aus dem Kischlak Tschorku röntgenographisch studiert. Die metrischen Änderungen der Knochen der oberen und unteren Gliedmaßen wurden mit denselben Methoden bei 299 russischen Männern und Frauen aus Moskau im Alter von 40—105 Jahren untersucht.

Wir haben festgestellt, daß sich mit zunehmendem Alter bei Epiphysen und Diaphysen die Pulpaöhlen der Langknochen erweitern, während ihre Kompakta dünner wird (Abb. 14 und 15), daß sich die kurzen Röhrenknochen verlängern (Tab. 1) und daß die Länge und Höhe der kurzen Knochen des Fußes größer wird (Abb. 16).

Die Daten der Tabelle 1 zeigen nach den Ergebnissen einer langfristigen Untersuchung die Längenvergrößerung des proximalen Mittelfingerglieds

TAB. 1

Änderungen der Länge des proximalen III. Fingerglieds der Hand bei älteren und alten Frauen im Laufe von 3 Jahren (1964—1967)

50—69 Jahre	41,06 ± 0,32 mm
53—72 Jahre	41,38 ± 0,30 mm
70—79 Jahre	40,37 ± 0,13 mm +
73—82 Jahre	40,89 ± 0,12 mm +
80—89 Jahre	41,21 ± 0,22 mm
83—92 Jahre	41,35 ± 0,22 mm

Anmerkung: + — Altersänderungen signifikant bei $p < 0,01$.

der Hand in 3 Jahren. Bei der Gruppe der 70—79jährigen (73—82jährigen bei der wiederholten Untersuchung) Frauen ist diese Änderung des Fingerglieds in 3 Jahren statistisch signifikant.

Führen wir weitere Beispiele an: Der Basisdurchmesser des zweiten Metatarsus vergrößert sich bei Frauen von 50—59 und 90—99 Jahren um 1,7 mm, bei Männern von 50—69 und 80—89 Jahren um 1,3 mm. Bei Männern von 50—69 vergrößert sich die durchschnittliche Länge des proximalen Mittelfingerglieds der Hand in zwei Jahren von 44,0 auf 44,4 mm. Die Breite des Gelenkkopfes des mittleren Mittelfingerglieds ändert sich in 4 Jahren bei 40—49 Jahre alten Frauen von 9,86 auf 10,06 mm. Unter bestimmten Bedingungen verkleinert sich je-

doch die Breite der Epiphysen, Diaphysen und Länge der Knochen mit zunehmendem Alter. So verringert sich der sagittale Durchmesser des Trochanter minor femoris bei Männern zwischen 60—69 und 80—89 Jahren um 4,8 mm.

Um festzustellen, welche Umstände zu einer Vergrößerung und welche zu einer Verkleinerung der äußeren Maße der Knochen beitragen, untersuchten wir Frauen, die im Jahr 1964 und nochmals im Jahr 1966 röntgenisiert wurden.

Wir berechneten die relativen Größenänderungen der Fuß-, Ellbogen- und Kniegelenkknochen in zwei Jahren bei Frauen, die in den Jahren 1966—1969 infolge langwieriger chronischer Krankheiten starben, und bei Frauen, die in dieser Zeit am Leben blieben. Es zeigte sich, daß die Breite der Basis und des Gelenkkopfes des Metatarsus II bei den 1966—1969 gestorbenen Frauen um 0,06 und

1,59 % der ursprünglichen Größe kleiner geworden war; die Breite der Diaphyse und die Dicke der Kompaktaschicht erhöhte sich um 0,59 und 0,84 %. Während derselben Zeit hatten sich der Durchmesser der Basis und des Gelenkkopfes des Metatarsus II bei Frauen, die am Leben geblieben waren, um 1,23 und 0,70 %, die Breite der Diaphyse und die Dicke der Kompaktaschicht um 1,06 und 2,86 % erhöht. Das Dickerwerden der Kompakta ist nicht nur mit einem periostalen sondern auch endostalen Aufbau der Knochensubstanz verbunden, der zu einer Verkleinerung der Pulpahöhle führt. Bei Frauen, die in den Jahren 1966—1969 starben, verengerte sich die Pulpahöhle des II. Metatarsus bloß um 0,19 %, bei Frauen, die am Leben blieben, um 1,54 % des ursprünglichen Durchmessers.

Vergleichen wir nun die Änderungen der Maße des Proximalteils des dritten Handfingers im Laufe von drei Jahren bei den Frauen, die in den Jahren 1967—1969 nach der wiederholten Untersuchung starben, und bei Frauen, die in derselben Zeit am Leben blieben:

TAB. 2
Änderungen der Maße des Proximalglieds des dritten Handfingers in Prozenten der ursprünglichen Werte bei älteren und alten Frauen, die in den Jahren 1967—1969 starben und bei Frauen, die in dieser Zeit am Leben blieben

	gestorbene Frauen	lebende Frauen
Basisbreite des Fingerglieds	0,61 ± 0,11 %	1,28 ± 0,18 %
Länge des Knochens	1,00 ± 0,18 %	1,36 ± 0,16 %
Breite der Pulpahöhle	3,29 ± 0,58 %	3,67 ± 0,43 %

Anmerkung: + — Unterschied zwischen den beiden Gruppen ist bei $p < 0,002$ signifikant.

Wie die Daten der Tabelle 2 zeigen, hatten sich die Länge des Fingerglieds, der Durchmesser seiner Basis und der Pulpahöhle bei den 1967—1969 gestorbenen Frauen weniger vergrößert als bei den Frauen, die am Leben geblieben waren.

Unsere Daten bestätigen also die Beobachtungen L. P. Astanins (1951), R. Smiths und R. Walkers (1964) und S. Garns mit Koll. (1967, 1968) über die Vergrößerung der Durchmesser der Röhrenknochen des erwachsenen Menschen mit zunehmendem Alter. Dagegen können wir mit M. Trotter, R. Petersen und R. Wette (1968) nicht übereinstimmen, die die Verbreiterungen der Diaphyse bloß mit zeitgegebenen Änderungen des Knochenwachstums erklären wollen. Unsere langfristigen Untersuchungen, die eine Bestätigung der Ansicht brachten, daß sich die Knochen mit zunehmendem individuellem Alter ändern, beweisen den Irrtum M. Trotters und seiner Mitarbeiter. Es ist klar, daß sich während des Alterns der Knochen bei tödlich endenden Erkrankungen die Meßwerte

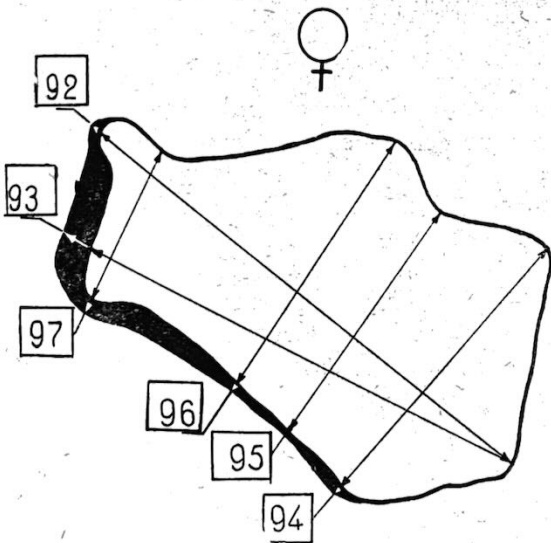
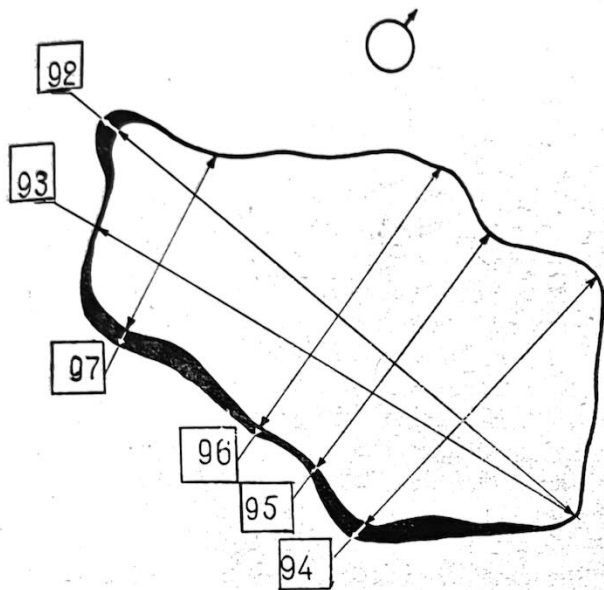


ABB. 16

Größenzuwachs des Fersenbeins russischer Männer und Frauen aus Moskau zwischen dem 60.—69. und 80.—89. Lebensjahr.

manchmal weniger vergrößern, manchmal stärker verkleinern, als bei dem Altern, das in absehbarer Zeit nicht mit dem Tode endet.

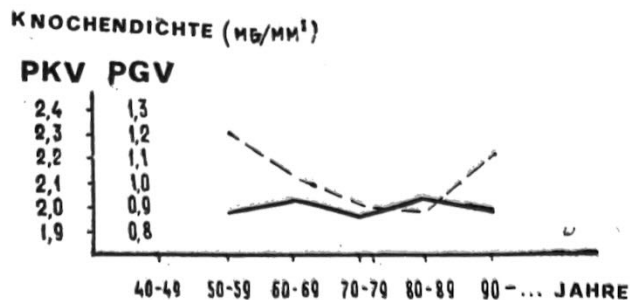


ABB. 17

Altersänderungen der Kompaktadichte (PKV — volle Linie) und der Spongiosadichte (PGV — gestrichelte Linie) des Mittelglieds des III. Fingers bei russischen Frauen aus Moskau.

Sehr interessant sind die Altersänderungen der Substanzdichte der Handknochen, die bei dem mittleren Glied des dritten Fingers röntgenphotometrisch bestimmt wurden (Abb. 17). Die Dichte der Spongiosa verringert sich von 50—59 und 80—89 Jahren ständig. Allein, bei 90jährigen und noch älteren Frauen wird die Spongiosa wieder konsistenter als bei den 80—89jährigen Frauen. Wie man also sieht, besitzen Menschen, die 90 und mehr Jahre alt werden, eine relativ hinreichend dichte Spongiosa. Die Abnahme ihrer Dichte mit zunehmendem Alter ist zwar statistisch nicht signifikant, stellt jedoch im Greisenalter einen gesetzmäßigen Prozeß vor, wie man der Literatur entnehmen kann.

Nach den Mittelwerten zu schließen, ändert sich die Dichte der Kompakta mit dem Alter praktisch kaum (Abb. 17). Der Korrelationskoeffizient der Abhängigkeit dieser Dichte vom Alter beträgt $0,143 \pm 0,084$, was für eine Tendenz zur direkten Abhängigkeit, d. i. für eine Steigerung der Dichte mit zunehmendem Alter spricht (infolge des Schütterwerdens der Spongiosa und des Dünnwerdens der Kompakta).

Ähnliche Beweise führt die Literatur an. G. V o s e, B. S t o v e r und P. M a c k (1961) fanden zum Beispiel bei der Untersuchung der Kompaktsubstanz osteoporoser Schenkelbeine einen um 5 % höheren Aschengehalt und eine unter den Bedingungen der statischen Beanspruchung um 30 % höhere Festigkeit als bei Knochen, die frei von Symptomen der Osteoporose waren. Im Zusammenhang mit der steigenden Atrophie der Kompakta war dieser Zustand schließlich von einer 40 % betragenden Festigkeitsverminderung der osteoporosen Knochen begleitet.

DAS TEMPO DES AUFBAUS UND DES ABBAUS DER KNOCHEN IN VERSCHIEDENEN ALTERSPERIODEN

Nach den Ergebnissen einer zweimal wiederholten röntgenographischen Untersuchung der Hand

von Bewohnern Moskaus, des Dorfes Poretschje und des Kischlak Tschorku, und nach der Röntgenographie der Knochen des Fußes, Ellbogen- und Kniegelenks bei Moskauer Frauen wurden die spezifischen Geschwindigkeiten des periostalen Knochenaufbaus und des endoostalen Knochenabbaus berechnet. Zu diesem Zwecke maßen wir auf Röntgenogrammen den Umfang der betreffenden Knochen an jenen Stellen, wo die Aktivität der Knochenbildung und des Knochenabbaus zu klären war. Wir ermittelten die Durchschnittswerte dieser Maße für die erste und die wiederholte Untersuchung und berechneten die spezifischen Tempi mit Hilfe von Schmalhausens und Brodis Formel. Bei der Klärung der Daten berücksichtigten wir, daß die Vergrößerung der Knochenmaße die periostale Knochenbildung charakterisiert. Die Erweiterung der Pulpahöhlen der Knochen ist das Ergebnis des endoostalen Abbaus der Knochensubstanz.

Bei dem Studium der Proximalglieder des Mittelfingers der linken Hand der Bewohner von Poretschje wurde konstatiert, daß das Tempo der periostalen Knochenbildung zwischen dem 9. und 12. Lebensjahr bei Knaben geringer, und das Tempo des endoostalen Knochenabbaus bei Knaben stärker ist als bei Mädchen. Zwischen dem 12. und 18. Lebensjahr ist das Tempo des Aufbaus und Abbaus der Knochen bei Knaben höher als bei Mädchen. Das geringste Tempo des Knochenabbaus sowohl bei Männern als auch bei Frauen wurde im Durchschnitt zwischen dem 35.—40. Lebensjahr,* des Knochenaufbaus bei Männern zwischen dem 45. und 49. Lebensjahr, bei Frauen zwischen dem 35. und 40. Lebensjahr beobachtet.

Später steigert sich das Tempo dieser Prozesse. Bis zum 50. Lebensjahr verläuft die periostale Knochenbildung im Durchschnitt bei Frauen, nach dem 50. Lebensjahr bei Männern rascher (Abb. 18).

Bei den Tadschiken aus dem Kischlak Tschorku fällt das Minimaltempo des periostalen Knochenaufbaus am Proximalglied des Mittelfingers der Hand auf ein jüngerer Alter, des endoostalen Knochenabbaus auf ein höheres Alter als bei den russischen Männern des Dorfes Poretschje: nämlich auf 35—38 und 45—48 Jahre. Später erhöht sich das Tempo dieser Prozesse. Zwischen den russischen und tadschikischen Frauen wurde eine höhere Übereinstimmung gefunden: das Tempo des periostalen Knochenaufbaus und des endoostalen Knochenabbaus erreicht bei tadschikischen Frauen Mindestwerte zwischen dem 35. und 38. Lebensjahr.

Das Tempo des periostalen Knochenaufbaus und des endoostalen Knochenabbaus ändert sich je nach dem Alter und bei verschiedenen Knochen. Bei den Handknochen der Frauen aus Moskauer Altersheimen erhöht es sich bis in ein Alter von 80 und

* Im Augenblick der ersten Untersuchung betrug das Durchschnittsalter der 30—39jährigen Probanden 35 Jahre, bei der nach 5 Jahren wiederholten Untersuchung waren die 35—44jährigen Probanden durchschnittlich 40 Jahre alt. Deshalb beträgt das mittlere Alter der beobachteten Gruppe während der Untersuchungszeit 35—40 Jahre. Auf dieselbe Weise wurden auch die weiteren Berechnungen des Durchschnittsalters vorgenommen.

mehr Jahren, bei den Fußknochen bis im Alter von 75–77 Jahren, und senkt sich dann; bei den Knochen des Ellbogen- und Kniegelenks wurde eine Tempoverminderung bereits nach 60–62 Lebensjahren beobachtet.

DAS ALTERN DER MIKROSTRUKTUREN DER KOMPAKTASUBSTANZ

Im Institut für pathologische Anatomie der I. medizinischen Fakultät Moskau stellte man aus dem Mittelteil der Diaphysen des rechten Schenkelbeins von 44 Männern und 6 Frauen im Alter von 40–80 Jahren, die an Herz- oder Gefäßkrankheiten oder an den Folgen von Unfällen gestorben waren, Präparate her, die zu Stärken von weniger als 100 μ geschliffen wurden. Das mikroskopische Studium ergab, daß sich die Sättigung der Kompakta mit Osteonen zwischen 50–59 und 60–69 Jahren von durchschnittlich $12,09 \pm 0,84$ auf $9,50 \pm 0,70$ in 1 mm² des Knochens vermindert. Der Durchmesser der einzelnen Osteone vergrößert sich in dieser Zeit von $182 \pm 8 \mu$ auf $208 \pm 3 \mu$, um zwischen dem 70. bis 80. Lebensjahr auf $178 - 12 \mu$ zu sinken. Die Zahl der konzentrischen Plättchen in der Osteonwand erhöht sich von $7,77 \pm 0,43$ mit 50–59 Jahren auf $8,76 \pm 0,25$ mit 60–69 Jahren. Die äußeren Plättchen werden mit zunehmendem Alter schwächer: ihre Stärke verringert sich von $82 \pm 15 \mu$ mit 50–59 Jahren auf $44 \pm 8 \mu$ mit 70–80 Jahren.

Interessanterweise unterscheiden sich die Durchmesser der Osteone und Haversschen Kanäle und die Zahl der konzentrischen Knochenplättchen bei Männern im Alter von 50–59 und 70–80 Jahren nur wenig, während der Grad der Osteonisierung der Kompakta mit 70–80 Jahren wesentlich geringer ist als mit 50–59 Jahren.

Bei Männern mit brachymorphem Körperbau weist die Kompakta mehr Osteone auf; diese sind breiter, ihr Lumen schmaler und die Zahl der konzentrischen Knochenplättchenschichten in der Osteonwand ist größer als bei Männern mit dolichomorphem Körperbau.

Bei Männern mit hypertrophem Körperbau kommen weniger Osteone vor, die Durchmesser des Osteons und Haversschen Kanals sind größer, das prozentuale Verhältnis des zweitgenannten Durchmessers zum erstgenannten und die Zahl der konzentrischen Knochenplättchenschichten sind ebenfalls größer als bei Männern mit hypotrophem Körperbau. So betrug zum Beispiel der Durchmesser des Haversschen Kanals bei Hypertrophikern $83 \pm 11 \mu$, bei Hypotrophikern nur $51 \pm 6 \mu$. Bei Hypotrophikern liegt der Durchmesser des Osteons und Haversschen Kanals meist auf dem Niveau der Minimalwerte für das gegebene Alter (Abb. 19). In 1 mm² Kompakta wurden durchschnittlich $9,17 \pm 0,92$ Osteone bei Hypertrophikern und $13,1 \pm 0,83$ Osteone bei Hypotrophikern festgestellt.

Die konstitutionellen Unterschiede der Mikrostrukturen der Kompakta des Schenkelbeins von Männern lassen sich durch die individuellen Besonderheiten der mechanischen Beanspruchung dieses Knochens erklären, die ihrerseits mit dem Körperbau zusammenhängen. Das Körpergewicht und damit auch die Belastung des Schenkelbeins ist bei brachymorphen und hypertrophen Männern stärker als bei dolichomorphen und hypotrophen. Sowohl bei der Brachymorphie als auch bei der Hyper-

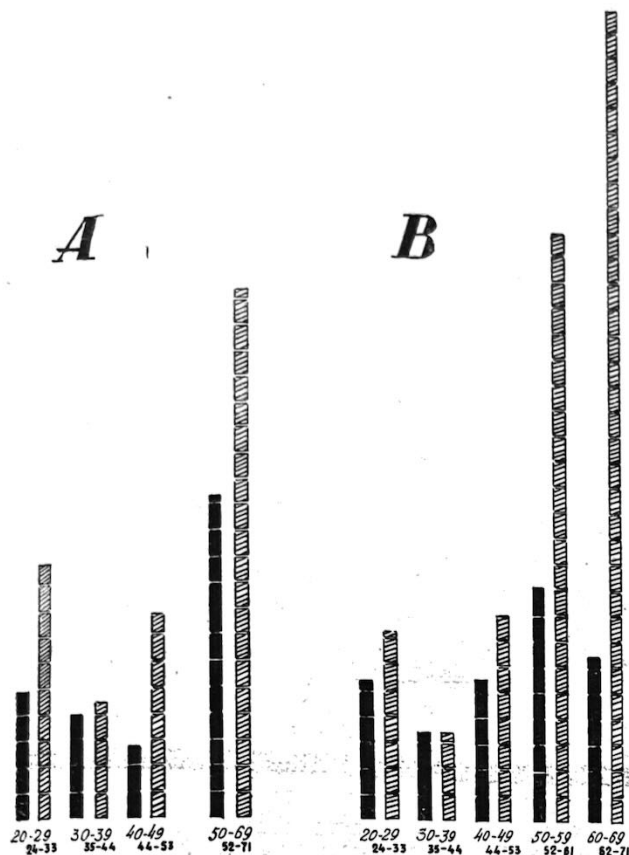


ABB. 18

Spezifisches Tempo der periostalen Knochenbildung (schwarz) und des endoostalen Knochenabbaus (gestrichelt) am Proximalglied des mittleren Handfingers bei russischen Männern (links) und Frauen (rechts) aus dem Rayon Jaroslavsk. Rechteck — 0,001. Altersangabe nach der ersten und wiederholten Untersuchung.

Die Knochenbildung und der Knochenabbau, die gleichzeitig verlaufen, können nach dem Tempo der Änderungen nicht beurteilt werden. So stehen die spezifischen Geschwindigkeiten dieser beiden Prozesse bei den Diaphysen russischer Frauen aus Altersheimen in folgenden Relationen: 1:1 (60–63 Jahre) und 1:2,5 (74–77 Jahre). Eine Tempoerhöhung des Knochenabbaus gegenüber dem Knochenaufbau führt zur Osteoporose.

Unsere Daten bestätigen und erweitern die Beobachtungen G. F r o s t s (1964), der bei der mikroskopischen Untersuchung der Altersänderungen einer Rippe von den ersten Lebensjahren bis zum 30.–40. Lebensjahr eine Verminderung der Aufbau- und Resorptionsaktivität, vom 60.–70. Lebensjahr eine Erhöhung feststellte und sie mit den entsprechenden Zahlen der Howshipschen Schichten, Haversschen Kanäle und dem Osteongehalt pro mm² Kompaktasubstanz wertete. Die sexuellen, lokalen und Populationsunterschiede des Tempos der Bildung und des Abbaus der Knochen wurde noch nicht eingehend erforscht.

trophie trägt die hohe statische Belastung zur Ausbildung breiterer Osteone bei. Doch ist der Grad ihrer Verbreiterung bei Brachymorphie und Hypertrophie nicht identisch. Wenn wir den Durchmesser

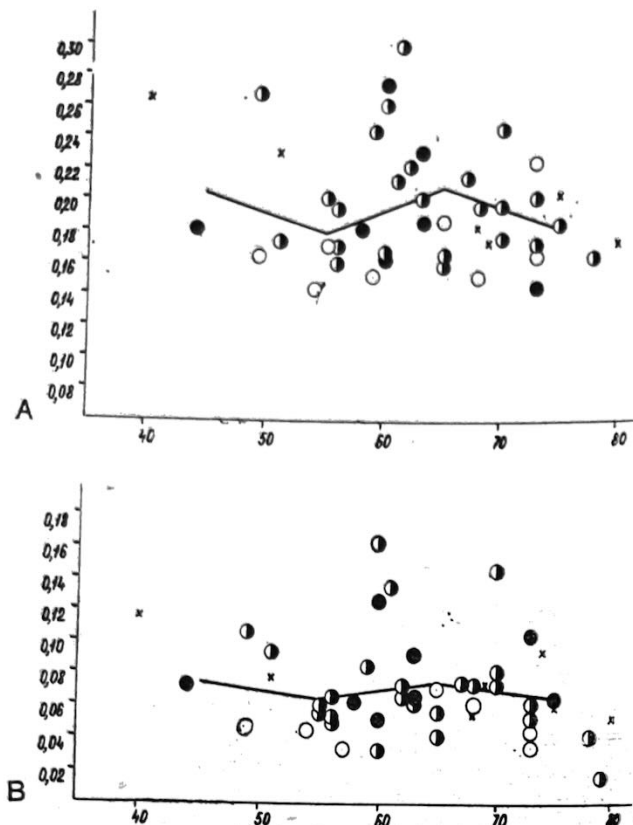


ABB. 19

Mittelwerte der Osteone (A) und Haversschen Kanäle (B) bei Männern mit verschiedenem Grad der Fettablagerung. Schwarze Kreise — hypertrophe, schwarz-weiße — mesotrophe, weiße — hypotrophe Männer. Auf der Abszisse sind die Lebensjahre aufgetragen.

der Osteone dolichomorpher und hypotropher Männer gleich 100 % setzen, beträgt er bei Brachymorphie 109 % des Osteondurchmessers der Dolichomorphen, und bei Hypertrophie 115 % der Hypotrophiker. Bei hypertrophen Männern ist das Lumen des Osteons größer und die Wanddicke geringer (114 μ) als bei hypotrophen Männern (120 μ). Bei brachymorphem Körperbau ist das Lumen des Osteons kleiner und die Dicke seiner Wand wesentlich größer (141 μ) als bei Männern mit dolichomorphem Körperbau (100 μ).

In der Literatur wird angeführt, daß sich die Sättigung der Kompakta mit Osteonen mit zunehmendem Alter vergrößert, der Durchmesser der Osteone kleiner wird, die Zahl der Haversschen Kanäle zunimmt und die Dicke der äußeren gemeinsamen Plättchen des Osteons abnimmt (L. P. Astanin, 1951; V. Najnis, 1965; J. Currey, 1964). Manche dieser Angaben können unsere Beobachtungen nicht bestätigen. So ist zum Beispiel der Durchmesser der Osteone bei 60–69 Jahre alten Männern größer als bei 50–59 Jahre alten Männern, mit 70–80 Jahren jedoch wesentlich kleiner. Der Osteonisierungsgrad der Kompakta verringert sich mit zunehmendem Alter.

Die Gelenkenden der Handfingerglieder wurden bei den Bewohnern des Dorfes Poretschje und der Stadt Moskau, die Gelenkenden der Knochen der Schulter-, Ellbogen-, Knie-, talonavicularen und carpalonavicularen Gelenks bei Männern und Frauen aus Moskauer Altersheimen im einmaligen Querschnitt und langfristig untersucht. Die Entwicklungsstufe der Gelenkosteophyten, der subchondralen Sklerose, der zystösen Änderungen und das Dünnerwerden der Gelenkknorpel wurden in Punkten ausgedrückt. Bei Altersgruppen von je 10 oder 20 Punktwerte der untersuchten Merkmale des Alterns.

Wir stellten fest, daß die Osteophyten der Gelenkköpfe der mittleren Fingerglieder der Gelenkentwickelt sind als an der Basis der distalen Glieder (Eberdensch Knoten), wo sie wieder stärker Glieder auftreten als an der Basis der mittleren Glieder (Bouchardsche Knoten). Bei 40–59jährigen Männern aus Poretschje sind die Osteophyten des Gelenkkopfes des Mittelglieds (Eberdensch und Bouchardsche Knoten) an der Ulnarseite der Finger der linken Hand mit 0,88–0,53–0,12 Punkten zu werten. An der Ulnarseite der Fingerglieder erscheinen die Gelenkosteophyten und zystösen Änderungen in der Umgebung der Gelenke früher als an der Radialseite.

Die Symptome des Alterns der Fingerglieder werden mit zunehmendem Alter markanter. So wurde zum Beispiel der ulnare Eberdensch Knoten an der linken Hand der Moskauer Männer im Alter von 60–69 Jahren mit $0,58 \pm 0,08$, im Alter von 70–79 Jahren mit $0,79 \pm 0,08$, im Alter von 80–89 Jahren mit $0,81 \pm 0,07$ und im Alter von 90 und mehr Jahren mit $0,88 \pm 0,13$ Punkten gewertet. Bei 90-jährigen und noch älteren Menschen waren die Alterssymptome manchmal weniger markant als bei den 80–89jährigen. So erreichte der Bouchardsche Knoten bei Moskauer Männern und Frauen im Alter von 80–89 Jahren Werte von $0,45 \pm 0,06$ und $0,42 \pm 0,05$ Punkten. Bei 90jährigen und älteren Männern und Frauen wies dieser Osteophyt $0,31 \pm 0,19$ und $0,23 \pm 0,10$ Punkte aus. Selten ändern sich mit dem Alter die Osteophyten des Gelenkkopfes des Mittelglieds. Bei der linken Hand von 40–49jährigen Moskauer Frauen betrug der ulnare Osteophyt $1,10 \pm 0,05$, mit 50–59 Jahren $1,0 \pm 0,04$, mit 60–69 Jahren $0,98 \pm 0,03$, mit 90 und mehr Jahren $1,00 \pm 0,06$ Punkte. Wie diese Zahlen zeigen, verkleinert sich der ulnare Osteophyt des Gelenkkopfes des Mittelglieds von 40–49 bis 80–89 Jahren und vergrößert sich ein wenig nach dem 90. Lebensjahr. Der radiale Osteophyt verkleinert sich bei denselben Frauen von 40–49 bis 50–59 Jahren, um sich dann mit zunehmendem Alter zu vergrößern. Bei Männern und Frauen aus Poretschje verkleinert sich der ulnare und radiale Osteophyt des Gelenkkopfes des Mittelglieds von 40–49 bis 50–59 Jahren bei Männern, und bis 60–69 Jahren bei Frauen (Abb. 20).

Die metrische Abnahme der Osteophyten bei 90 und mehr Jahre alten Menschen im Vergleich mit

den 80–89jährigen erklären wir mit dem Wirken des selektiven Faktors, wobei wir allerdings auch die Möglichkeit einer Rückentwicklung der Osteophyten infolge Resorption konzederen. Die altersgegebene metrische Verkleinerung der Osteophyten des Gelenkkopfes des Mittelglieds, die die einmalige Querschnittuntersuchung ergab, läßt sich unserer Ansicht nach am wahrscheinlichsten mit zeitgegebenen Unterschieden der Altersänderungen erklären. Daß derartige Unterschiede grundsätzlich möglich sind, hat G. D. Rochlin (1963) unlängst festgestellt.

Der Vergleich von Röntgenogrammen des Handskeletts von Frauen, die im Jahr 1964 und wiederholt im Jahr 1967 untersucht wurden, zeigte in den meisten Fällen keinerlei nachweisbare Änderungen der Alterssymptome. Bei einem Teil der untersuchten Fälle verstärkte sich der Grad des betreffenden Symptoms nur schwach, seltener verringerte oder verstärkte er sich wesentlich. Symptome, die früher erschienen, stabilisierten sich nach den Daten der Querschnittuntersuchung früher, wie die langfristige Untersuchung beweist. Mit zunehmendem Alter verringert sich die Fähigkeit zu Änderungen des subchondralen Knochengewebes. Bei älteren und alten Frauen, die in den Jahren 1967–1968 an chronischen Erkrankungen starben, änderten sich die Alterssymptome der Handfingerglieder in den Jahren 1964 und 1967 weniger als bei Frauen, die in den Jahren 1967–1969 am Leben blieben.

Die Spongiosa der Epiphysen altert bei den verschiedenen Teilen des Skeletts ungleichmäßig. Am häufigsten kommen Osteophyten der distalen Schenkelbeinepiphysen, des Medialrandes der Gelenk-

köpfe der Speiche, und der proximalen Schienbeinepiphyse, des hinteren und vorderen Oberrandes des Kahnbeins vor. Im Kniegelenk erreichen die Osteophyten größere Ausmaße als im Ellbogengelenk. Die Altersänderungen der Gelenkenden der Knochen treten bei Frauen meist markanter auf als bei gleichalten Männern.

Die Ungleichmäßigkeit des Alterns verschiedener Teile des subchondralen Knochengewebes und der Gelenkknorpel hängt mit den unterschiedlichen Graden der mechanischen Beanspruchung zusammen. Die Knochen des Kniegelenks werden mechanisch stärker beansprucht als die Knochen des Ellbogengelenks. Deshalb sind die Osteophyten des Kniegelenks markanter ausgebildet als jene des Ellbogengelenks. Das markantere Auftreten der Osteophyten am Medialrand der benachbarten Epiphysen des Schenkel- und Schienbeins (im Vergleich mit dem Lateralrand) und die stärkere Verschmälerung des Gelenkknorpels zwischen den medialen Gelenkköpfen läßt sich mit dem intensiveren Einfluß des Körpergewichts auf die medialen Gelenkköpfe erklären.

DAS ALTERN DER KNOCHEN AN DEN ANSATZSTELLEN DER SEHNEN UND BÄNDER

Die Messungen und zahlenmäßigen Auswertungen des Reliefs an den Ansatzstellen der Muskel und Gelenkbänder an Oberarmbein, Elle, Speiche und Fersenbein ließen mit zunehmendem Alter ein immer komplizierteres Relief erkennen. Im Laufe von 2 Jahren vergrößerte sich die Höhe der Höcker

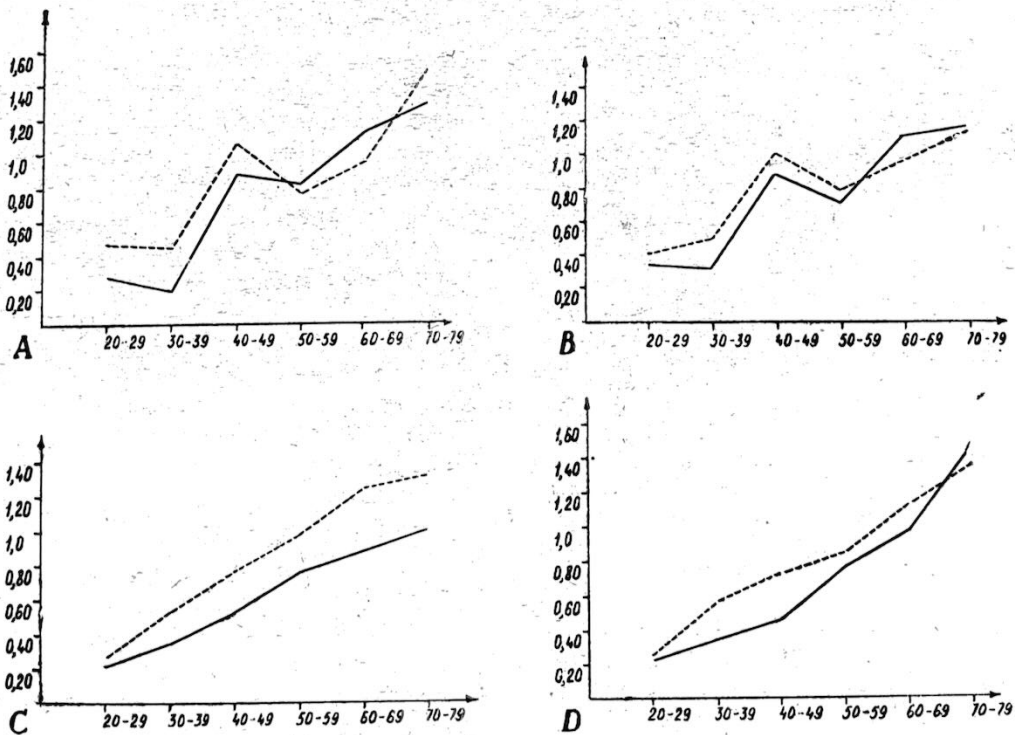


ABB. 20

Altersänderungen der Gelenkenden der Handfingerglieder bei Bewohnern des Dorfes Poretshche. A und B — ulnarer und radialer Osteophyt des Gelenkkopfes des Mittelglieds. C und D — ulnarer und radialer Eberdenschner Knoten. Volle Linie — Männer, gestrichelte Linie — Frauen.

an der Speiche um 1,6 % bzw. 2 % der ursprünglichen Werte, wie die wiederholten Beobachtungen von Männern und Frauen in Moskauer Altersheimen bewiesen. Die Osteophyten an der Ansatzstelle des Musculus triceps vergrößerten sich bei Männern und Frauen von 50–60 bis 80–89 Jahren und verkleinern sich erst nach dem 90. Lebensjahr. Die Osteophyten der Ansatzstelle der Achillessehne an das Fersenbein („oberer Sporn“) und des langen Sohlengelenkbandes („unterer Sporn“) vergrößern sich mit dem Alter bei Frauen von 1,03 ± 0,38 mit 60–69 Jahren auf 2,17 ± 0,31 Punkte mit 90–99 Jahren bei dem oberen Sporn, und von 0,51 ± 0,15 mit 60–69 Jahren auf 1,50 ± 0,50 Punkte mit 90 bis 99 Jahren bei dem unteren Sporn.

Die metrische Vergrößerung der Osteophyten an den Ansatzstellen der Muskel und Bänder ermöglicht es, diese Veränderung zu den Alterssymptomen der Knochen zu rechnen. Wir können deshalb mit S. B e t u r n é (1960) nicht übereinstimmen, der die Bildung von Osteophyten im Alter mit dem Steigen des Muskelzugs erklärt. Es ist nämlich ganz evident, daß sich die Muskelkraft mit zunehmendem Alter verringert (S. I. F u d e l - O s i p o w a, 1968). Offenbar muß also die Bildung von Osteophyten an den Ansatzstellen der Muskel und Bänder bei älteren und alten Menschen andere Ursachen haben.

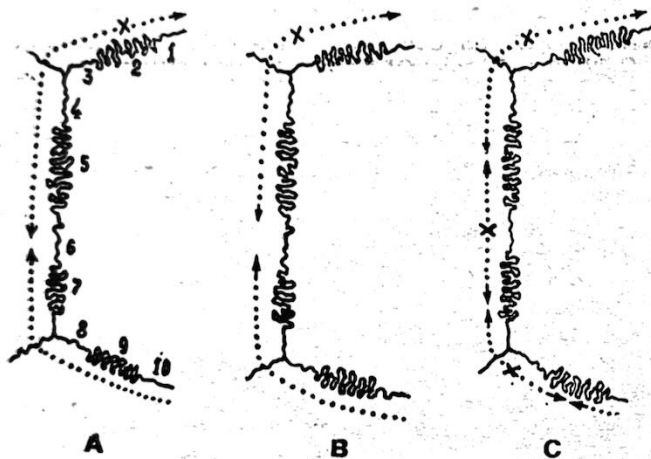


ABB. 21

Obliterationsvektoren der Kranz-, Pfeil- und Lambdanaht. X — Stelle des Auseinanderlaufens der Vektoren: A — Männerschädel von Russen, Armeniern und Ungarn; B — Männerschädel neolithischer und eneolithischer Rumänen und heutiger Rumänen im Alter von 60–69 Jahren; C — Männerschädel 20–29jähriger Rumänen. Kranznaht; 1 — laterales, 2 — mittleres, 3 mediales Drittel. Pfeilnaht; 4 — vorderes, 5 — vorderes mittleres, 6 — mittleres hinteres, 7 — hinteres Viertel. Lambdanaht; 8 — mediales, 9 — mittleres, 10 — laterales Drittel.

Die Umwandlung des Bindegewebes in Knochengewebe äußert sich mit zunehmendem Alter in der sogenannten Obliteration, d. i. dem Verwachsen der Schädelnähte, deren Altern wir bei kranziologischen Serien von Russen, Armeniern, Burjaten, Tuwinzen und Tschuktschen studierten (insgesamt 245 Schädel). Den Grad der Obliteration der Schädelnähte werteten wir nach Brocas Stufenleiter.

Die Obliteration der Schädelnähte beginnt durchschnittlich nach dem 20. Lebensjahr und schreitet dann verschieden rasch fort, in Anhängigkeit von dem Geschlecht, Alter, den Maßen und Formen des Schädels, der Entwicklung des Kauapparats und anderer Umstände, die das Wachstum des Schädels begleiten.

Das Obliterationstempo der einzelnen Schädelnähte läßt Unterschiede erkennen. Die Nähte der Augenhöhle verwachsen früher als die Nähte der Schädelwölbung, am spätesten tritt die Obliteration der Nähte des Gesichtsskeletts ein (mit Ausnahme der Nähte in den Augenhöhlen).

Um die Analyse der lokalen Besonderheiten des Alterns der Schädelnähte zu präzisieren, führten wir den Begriff „Obliterationsvektor“ ein, mit dem wir die Richtung bezeichnen, in der die Obliteration der Nähte zunimmt. Bei den Nähten der Schädelwölbung von Russen und Armeniern schreiten die Anzeichen der Obliteration vom mittleren Drittel der Kranznaht gegen die Bregmaabschnitte der Kranz- und Pfeilnaht, von hier aus dann wieder zurück zum mittleren und hinteren Teil der Pfeilnaht fort. Der zweite Vektor verläuft vom lateralen Drittel der Pfeilnaht zu ihrem mittleren, hinteren Abschnitt. In diesem Abschnitt begegnen einander die beiden erstgenannten Obliterationsvektoren (Abb. 21 A). Der dritte Vektor strebt vom mittleren Drittel der Kranznaht gegen ihr laterales Ende. Deshalb ist das mittlere Drittel der Kranznaht bei russischen und armenischen Männern jene Stelle, von der aus die Vektoren auseinanderlaufen. Die in unserer Arbeit konstatierte Lage der Vektoren wird von I. P i n t e r s (1960), O. N e k r a s o v a s (1960) und A. G h e a r g i u s und Koll. (1954) Angaben mit einer geringfügigen Berichtigung bestätigt: die Stelle des Auseinanderlaufens der Vektoren kann am medialen Drittel der Kranznaht liegen (Abb. 21 C), was sich bei Männerschädeln aus dem Neolithikum und Eneolithikum Rumäniens und auch bei heutigen Rumänen im Alter von 60 bis 96 Jahre beobachten läßt.

Das Verwachsen der Schädelnähte verläuft also in einem Dreivektor-System, das man jedoch nicht von allem Anfang festzustellen vermag. Zuerst schreitet die Obliteration unsystematisch fort. Bei 20–29 Jahre alten Rumänen, die wir nach Angaben G h e o r g i u s und Koll. (1945) verfolgten, existieren zuerst sieben Vektoren der Obliteration der Kranz-, Pfeil- und Lambdanaht (Abb. 21 C). Dann sinkt ihre Zahl auf drei.

Auch auf anderen Schädelpartien tritt eine Unregelmäßigkeit der Nahtobliteration zutage. Bei den das Pterion bildenden Nähten setzt sich die Obliteration gewöhnlich von oben nach unten fort: von der Sutura sphenosquamosa und sphenozygomata zur Sutura sphenoparietalis und sphenofrontalis, von hier aus gegen das laterale Drittel der Sutura coronalis. Diese Gesetzmäßigkeit äußert sich bei russischen, armenischen und rumänischen Schädeln (Abb. 22), mit dem einzigen Unterschied, daß der Obliterationsvektor bei der erstgenannten Serie von der Sutura squamosa zur Sutura sphenosquamosa (Abb. 22 A),

bei den Schädeln der zweiten und dritten Serie in umgekehrter Richtung strebt (Abb. 22 B). Die Stelle der Asteriongegend, wo die Vektoren auseinanderlaufen, ist die Sutura parietomastoidea. Von hier aus streben sie nach rückwärts gegen die Lambdanaht und nach unten gegen die Sutura occipitomastoidea. Eine ähnliche Lage wurde bei den Schädeln von Russen und Rumänen beobachtet. In der Augenhöhle erhöht sich die Intensität der Nahtverwachsung von vorn nach hinten und von unten nach oben. Am oberen knöchernen Gaumen strebt der Obliterationsvektor der Längsnähte von vorn nach hinten, der Quernähte in medialer (Sutura palatamaxillaris) oder lateraler (Sutura incisiva) Richtung.

Jene Teile der Schädelknochen, die sich an der Bildung der Nähte beteiligen, altern demnach — ähnlich wie die gelenkbildenden Teile der Gliedmaßenknochen — asynchronisch. Zur Klärung der Unterschiede der Obliteration konnten die lokalen Differenzen der mechanischen Beanspruchung der Schädelknochen herangezogen werden. Die Hauptquelle der mechanischen Spannungen in den Schädelknochen ist in der Tätigkeit des Kauapparats zu suchen, deren Intensität man nach der Ansatzfläche des Schläfenmuskels *M. temporalis* beurteilt. Bis zu einem gewissen Grad weist auch das Relief der

Schädelknochen — die Entwicklung der Glabella, der Augenbrauenbogen und des Hinterhaupthöckers — auf die Intensität der mechanischen Beanspruchung des Schädels hin. Vergleichen wir zum Beispiel die Ansatzfläche des Schläfenmuskels mit der Ausgeprägtheit des ganzen Schädelreliefs armenischer 35—54 J. alter Männer mit der Obliterationsstufe der Nähte an der Schädelwölbung und den noch offenstehenden Nähten (Tab. 3).

Die Glabella, Augenbrauenbogen und der Hinterhaupthöcker sind bei Menschen mit obliterierten Schädelnähten um durchschnittlich 1,64 Punkte markanter ausgeprägt als bei Menschen, deren Schädelnähte offen stehen. Dieser Unterschied ist statistisch signifikant.

Die Ansatzfläche des Schläfenmuskels ist bei Menschen mit Anzeichen der Nahtobliteration durchschnittlich um 7,52 cm² größer als bei Menschen ohne Spuren einer Nahtobliteration; auch dieser Unterschied ist statistisch signifikant.

Diese Angaben lassen einen unmittelbaren Zusammenhang zwischen der mechanischen Beanspruchung der Schädelknochen und der Obliteration der Schädelnähte erkennen, was auch die experimentellen und vergleichenden anatomischen Daten bewiesen. Wir belegten bei Versuchen mit Hunden, daß die Beseitigung der Schläfenmuskels die Oblite-

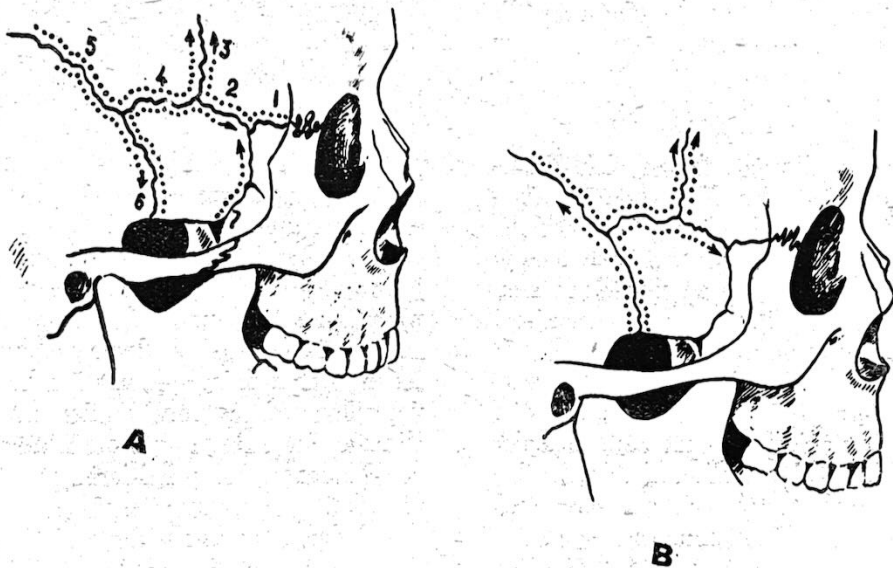


ABB. 22

Obliterationsvektoren der vorderen lateralen Nähte der Hirnschale; A — Schädel russischer Männern, B — Schädel armenischer Männer: Nähte: Sutura zygomaticofrontalis, 2 — Sutura sphenofrontalis, 3 — laterales Drittel der Sutura coronaria, 4 — Sutura sphenoparietalis, 5 — Sutura temporoparietalis, 6 — Sutura sphenotemporalis, 7 — Sutura sphenozygomatica lateralis.

TAB. 3

Zusammenhänge der Nahtverwachsung mit der Entwicklung des Schädelreliefs und der Ansatzfläche des Schläfenmuskels bei armenischen Männern

Männer	Schädel mit nicht-obliterierten Nähten		Schädel mit obliterierten Nähten	
	n	M ± m (M)	n	M ± m (M)
Ausgeprägtheit der Glabella, Augenbrauenbogen und des Hinterhaupthöckers	15	5,40 ± 0,36	25	7,04 ± 0,24
Ansatzfläche des Schläfenmuskels in cm ²	15	75,44 ± 2,55	25	83,01 ± 2,14

ration der Schädelnähte verzögert (B. A. Nikitjuk, 1968). Vergleiche von Säugetieren verschiedener Ordnungen zeigen, daß die Schädelnähte bei Raubtieren markanter ossifizieren als bei Nagetieren (B. A. Nikitjuk, 1965). Die Schläfenmuskulatur der Raubtiere sind stärker entwickelt als jene der Nagetiere.

Die mechanischen Einwirkungen auf den Schädel gehen nicht nur von der Kaufunktion aus, sondern werden auch vom Lebensmilieu bestimmt. Bei den Vertretern der Marderartigen, die im Wasser leben (Fischotter), obliterieren die Nähte stärker als bei ihren auf dem Lande lebenden Verwandten (Dachs) (B. A. Nikitjuk, 1965). Das ist begreiflich, wenn man bedenkt, daß der Schädel der Fischotter bei der Bewegung im Wasser einen größeren Widerstand zu bewältigen hat als der Schädel des Dachses.

Außer den mechanischen Bedingungen spielen bei der Nahtobliteration auch das Geschlecht und die ethnische Zugehörigkeit eine Rolle.

Nach den von A. Gheorgiu (1954) veröffentlichten Angaben über die Nahtobliteration an Schädeln von Rumänen konstatierten wir einen männlichen und einen weiblichen Obliterationstyp der Nähte der Schädelwölbung. Im Gegensatz zu Frauen obliterieren bei Männern der mittlere und hintere Abschnitt der Pfeilnaht stärker als das laterale Drittel der Kranznaht. Bei 20–29jährigen und mehr als 70 Jahre alten Männern obliterieren die Nähte häufig nach dem weiblichen Typ. Bis zum 60. Lebensjahr obliterieren die Nähte der Schädelwölbung bei Männern stärker, nach dem 60. Lebensjahr schwächer als bei Frauen.

Auch in ethnischer Hinsicht lassen sich Unterschiede in der Intensität der Nahtverknöcherung feststellen. Vergleichen wir in dieser Hinsicht die Obliterationsstufe der Nähte der Schädelwölbung bei Altersgruppen zu je 10 Jahren von Rumänen, Ungarn und Armeniern in Prozenten der maximal möglichen Obliteration (Tab. 4).

Nach den Daten dieser Tabelle zu schließen, verspätet sich das Altern der Schädelnähte bei den transkaukasischen Armeniern. So ist zum Beispiel in der IV. Altersklasse die Obliterationsstufe der Kranz- und Lambdanaht in 22 Fällen schwächer als bei den Schädeln der Rumänen. In der V. Altersklasse ist sie bei den Rumänen in 4 Fällen, in

der VI. in 3 Fällen stärker als bei den Armeniern. Auch Ju. G. Rytshkow (1969) berichtet über die verspätete Obliteration der Schädelnähte bei Bewohnern des Hochgebirges von Pamir.

Die morphologischen Eigenheiten der Gebirgsbewohner — Armenier im Kaukasus und Bewohner von Pamir — sprechen dafür, daß das Wachstum ihrer Schädel retardiert ist (V. V. Bunak, 1927; Ju. G. Rytshkow, 1969). Man kann voraussetzen, daß die Lebensbedingungen auf den Bergen zu einer Verlängerung des Schädelwachstums und damit auch zu einer Verspätung der Nahtobliteration führen. Zu Vergleichszwecken sei angeführt, daß V. V. Ginzburg (1947) bei Gebirgsbewohnern in West-Pamir ein Zunehmen der Körperhöhe in einem Alter beobachtete, in dem die Bewohner des Flachlandes nicht mehr wachsen. Als Ursache dieser Erscheinung kommen die experimentellen Angaben A. Rachimovs, L. E. Etingens, V. Sch. Belkins und M. U. Usmanovs (1968) über die funktionelle und morphologische Umstimmung der Drüsen der inneren Sekretion unter Hochgebirgsbedingungen in Betracht. Der Einfluß dieser Drüsen auf das Wachstum und Altern des Skeletts wird allgemein anerkannt, es ist also wohl selbstverständlich, daß er sich auch am Schädel äußert (L. E. Etingen, B. A. Nikitjuk, V. Sch. Belkin, 1969).

DER EINFLUSS DER MECHANISCHEN BEANSPRUCHUNG AUF DAS ALTERN DES SKELETTS

Es existieren zwei Arten der mechanischen Beanspruchung der Knochen — eine dynamische und eine statische.

Die dynamische Beanspruchung wird durch unterbrochene, pulsierende Effekte charakterisiert und wirkt vor allem auf die Knochen der oberen Gliedmaßen. Die statische Beanspruchung besitzt einen mehr oder weniger dauernden Einfluß. Sie wirkt vor allem auf die Knochen der unteren Gliedmaßen. Um die Rolle des Funktionsfaktors bei dem Altern der Knochen zu präzisieren, vergleichen wir die Intensität der Altersänderungen folgender Knochen, wobei der Grad ihrer dynamischen und statischen Beanspruchung verschieden ist: der distalen, mitt-

TAB. 4
Obliterationsstufe der Nähte der Schädelwölbung von Männern verschiedener ethnischer Gruppen (in %)

Alter in Jahrzehnten	Rumänen (nach A. Gheorgiu u. Koll., 1956)		Rumänen und Ungarn (nach E. David, 1926)		Armenier (nach unseren Daten)	
	n	M	n	M	n	M
III	100	13,9	19	13,7	7	0
IV	100	32,0	18	37,5	11	1,5
V	100	43,5	44	38,5	23	9,8
VI	100	51,2	19	52,1	19	16,0
VII	100	51,2	27	50,4	17	51,0
VIII und älter	76	60,9	14	52,7	17	51,0

feren und proximalen Fingerglieder der Hand, der Knochen der rechten und linken Hand, der oberen und unteren Gliedmaßen. Wir konfrontierten vor allem die dynamische Asymmetrie der Hand mit der Asymmetrie des Alterns ihrer Glieder, wobei wir die Materiale einmaliger und langfristiger Untersuchungen der Handknochen bei Bewohnern Moskaus, des Dorfes Poretschje-Rybnoje und des Kischlak Tschorku, der übrigen Teile des Gliedmaßenskeletts bei Bewohnern von Moskauer Altersheimen werteten.

Die Berechnungen zeigten, daß das spezifische Tempo des Aufbaus und Abbaus der Knochensubstanz des distalen Mittelfingerglieds (Russen aus Poretschje, Tadschiken) oder des dritten Metacarpus (Tadschiken) in einem Alter von 70 Jahren größer ist als bei dem proximalen Fingerglied (Abb. 23). Bei den Russen aus Moskauer Altersheimen, also einer zeitlich und biologisch älteren Gruppe als die Bewohner von Poretschje und Tschorku, war das Niveau des periostalen Aufbaus und des endoostalen Abbaus am Distalglied am geringsten.

Es ist bekannt, daß die Distalglieder der Handfinger und die Mittelhandknochen stärker beansprucht sind als die Proximalglieder. Im höheren und hohen Alter verstärkt demnach die steigende dynamische Aktivität den Aufbau und Abbau dieser Knochen. Bei Menschen, die eine bestimmte Altersgrenze überschritten haben (die wir nun präzisieren

wollen), verspätet sich infolge der erhöhten dynamischen Beanspruchung der periostale Aufbau und endoostale Abbau.

Die statische Beanspruchung verringert im höheren und hohen Alter die besprochenen Prozesse, erhöht jedoch zugleich die periostale Osteoklasie und die endoostale Osteogenese. In einem zweijährigen Intervall vorgenommene Untersuchungen des Metatarsus II ergaben, daß sich die Pulpahöhle verschmälert (Abb. 24). Bei dem Metacarpus II hatte sich die Pulpahöhle dagegen in derselben Zeit verbreitert. Die statische Beanspruchung an den Enden der II. Metatarsen hemmt den periostalen Aufbau und beschleunigt die periostale Resorption. In zwei Jahren verbreiterte sich der Gelenkkopf des Metatarsus II nicht so stark wie jener des Metacarpus II, dessen Basis sich sogar verschmälerte (Abb. 24).

Der zweifache Charakter der unter dem Einfluß mechanischer Beanspruchungen erfolgenden Änderungen ist für die Gelenkenden der Knochen typisch: Die Bildung der Osteophyten und anderer Alterssymptome verspätet sich in manchen Fällen und beschleunigt sich in anderen Fällen. Um die Rolle des Funktionsfaktors bei dem Altern der Gelenkenden der Handfingerglieder zu erkennen, ist ein Vergleich der rechten und linken Handknochen und eine Gegenüberstellung der funktionellen Asymmetrie der Hand und ihres Alterns vorteilhaft. Als

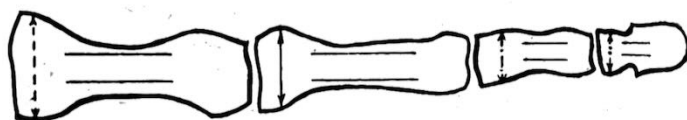
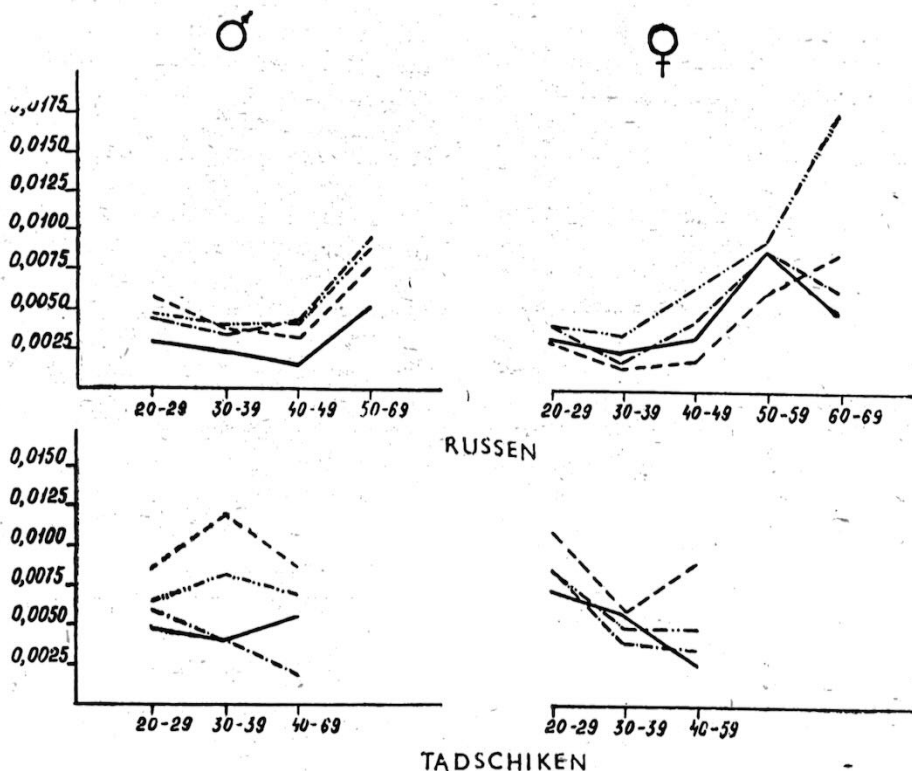


ABB. 23

Altersänderungen der spezifischen Geschwindigkeiten des periostalen Knochenaufbaus an der Basis des Mittelfingerglieds und des III. Metacarpalknochens von Russen aus dem Rayon Jaroslavsk (oben) und Tadschiken aus dem Rayon Leninabad (unten).

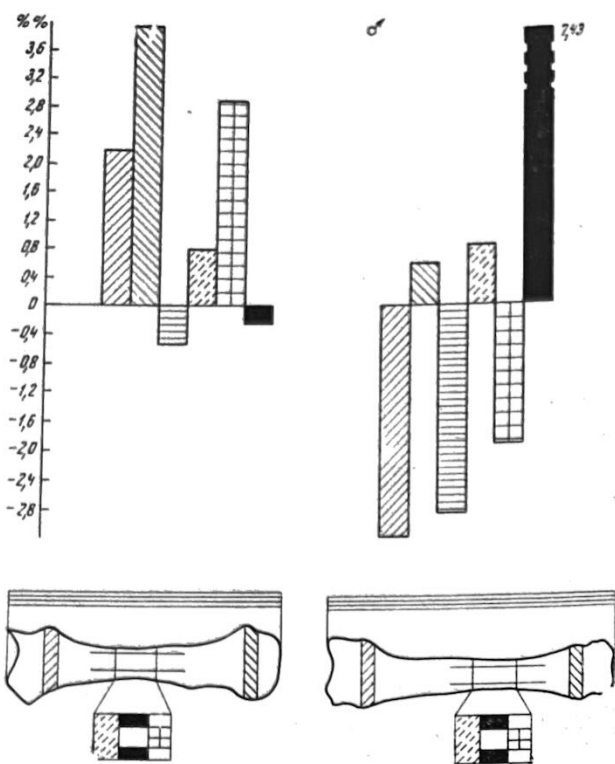


ABB. 24

Prozentuale Änderungen der Maße des II. Metacarpal- (links) und II. Metatarsalknochens (rechts) bei russischen Männern aus Moskau.

Maßstab dieser funktionellen Asymmetrie dient die Asymmetrie der dynamometrischen Werte. Wir berechneten die Indikatoren der Asymmetrie der Muskelkraft bei Männern als prozentuales Verhältnis der Stärke der rechten und linken Hand. Im Rahmen zweier Altersgruppen (60–74 Jahre, 75 und mehr Jahre) wurden die Untersuchungen auf Linkshänder (Index der Muskelkraft unter 100 %), schwache Rechtshänder (100–120 %), angemessene Rechtshänder (120–150 %) und starke Rechtshänder (über 150 %) verteilt. Für jede dieser Gruppen wurden die mittleren Werte der Alterssymptome der rechten Hand mit den mittleren Fehlern der Durchschnitte ermittelt.

Von den Linkshändern über die schwachen und angemessenen Rechtshänder erhöht sich die Beanspruchung der rechten Hand. Ihre Alterssymptome — Osteophyten des Gelenkkopfes des mittleren Fingerglieds, subchondrale Sklerose und Dünnerwerden des Gelenknorpels nach dem 75. Lebensjahr — sind bei ausgesprochenen Rechtshändern an der rechten Seite deutlich markanter.

Bei 60–75jährigen Männern-Linkshändern weist der ulnare Osteophyt des Gelenkkopfes des mittleren Fingerglieds $1,38 \pm 0,06$ Punkte, bei den angemessenen Rechtshändern $1,73 \pm 0,10$ Punkte aus. Der Unterschied ist bei $p < 0,02$ signifikant. Allerdings besitzen die Osteophyten an den Rändern der Gelenkoberfläche bei ausgesprochenen Männern-Rechtshändern, deren rechte die linke Hand an Muskelkraft 1,5mal übertrifft, im Vergleich mit den angemessenen Rechtshändern geringere Ausmaße. So mißt nach dem 75. Lebensjahr der ulnare Osteo-

phyt des Gelenkkopfes des mittleren Fingerglieds bei angemessenen Rechtshändern $1,71 \pm 0,10$ bei ausgesprochenen Rechtshändern $1,45 \pm 0,20$ Punkte. Die Werte des radialen Osteophyten betragen bei diesen beiden Männergruppen $1,12 \pm 0,15$ bei $0,75 \pm 0,18$ Punkte, des ulnaren Eberdenschen Knotens $0,66 \pm 0,10$ und $0,55 \pm 0,11$ Punkte, des ulnaren Bouchardschen Knotens $0,43 \pm 0,10$ und $0,25 \pm 0,11$ Punkte. Man darf voraussetzen, daß die dynamische Belastung die Entwicklung der Gelenkosteophyten dadurch fördert, daß sie auf die Knochen nur in bestimmten optimalen Quanten wirkt. Falls das optimale Belastungsniveau überschritten wird, verspätet sich die Entwicklung der Osteophyten. Die Grenze zwischen der „optimalen“ und „übermäßigen“ Belastungswerten ist bei Menschen verschiedenen Alters verschieden. Bei 60–74 Jahre alten Männern verstärkt die Krafterhöhung der rechten gegenüber der linken Hand um mehr als 150 % die Entwicklung des radialen Osteophyten des Gelenkkopfes des mittleren Fingerglieds. Bei 75 und mehr Jahre alten Männern verspätet sich die Entwicklung der Osteophyten unter denselben Bedingungen. Die Wirkung der mechanischen Faktoren ist eben bei den einzelnen Symptomen des Alterns und auf den einzelnen Altersstufen verschieden. Dasselbe gilt auch für die Diaphysen, bei denen als röntgenologisch feststellbares Hauptsymptom des Alterns das Dünnerwerden der Kompakta in Betracht kommt. Systematische Untersuchungen haben gezeigt, daß im Laufe eines Jahres bei 70 bis 79 Jahre alten Männern die Dicke der Kompaktaschicht der statisch beanspruchten Ober- und Unterschenkelknochen um 1,8 % der ursprünglichen Werte, bei den dynamisch beanspruchten Knochen nur um 0,8 % abnahm. Bei älteren und alten Männern verstärkte sich jedoch im Verlauf zweier Jahre die Kompakta des Metatarsus II, während sie bei dem Metacarpus II dünner wurde (Abb. 24).

Es wäre natürlich voreilig vorauszusetzen, daß die mechanischen Einflüsse eine entscheidende Rolle bei der Regulierung der Aufbau- und Abbauaktivität der Knochen spielen. Zweifellos existieren nämlich auch individuelle, geschlechtliche, ethnische und andere Normen der Reaktivität des Skeletts, die das Endergebnis der mechanischen Einwirkungen auf die alternden Knochen mitbestimmen.

DER ZUSAMMENHANG ZWISCHEN DEM ALTERN VERSCHIEDENER TEILE DES SKELETTS

Mit Hilfe der Korrelationsanalyse wurden bei russischen Frauen aus Moskauer Altersheimen die Zusammenhänge zwischen den Alterssymptomen der Knochen der Hand, des Ellbogen- und Kniegelenks einmalig im Querschnitt, und zwischen den metrischen Änderungen der Knochen des Fußes, Knie- und Ellbogengelenks im Laufe von zwei Jahren langfristig untersucht.

Die betreffenden Korrelationskoeffizienten sprechen von schwachen und mittelstarken Graden der Abhängigkeit, die bei den einzelnen Alterssymptomen verschieden sind. Bei der Hand bestehen die

geringsten Zusammenhänge mit anderen Symptomen, die für den ulnaren Osteophyten des Gelenkkopfes des mittleren Fingerglieds charakteristisch sind: die stärksten Zusammenhänge äußern sich bei dem radialen Eberdenschen Knoten. Je später sich die Osteophyten entwickeln, desto mehr stimmen ihre Ausmaße überein. Die radialen und ulnaren Osteophyten an der Basis des Mittelglieds (Bouchard'sche Knoten), die am spätesten erscheinen, hängen miteinander enger zusammen ($r = 0,588 \pm 0,038$) als die gleichnamigen Osteophyten an der Basis des Distalglieds (Eberdensche Knoten), die früher entstehen ($r = 0,517 \pm 0,042$) und ihrerseits wieder enger zusammenhängen als die Osteophyten des Gelenkkopfes des mittleren Fingerglieds, die sich am frühesten entwickeln ($r = 0,269 \pm 0,054$).

Die Ausbildung der Osteophyten an den gegenüberliegenden Rändern des Schenkel- und Schienbeins geht koordinierter vor sich als die Entwicklung der Osteophyten des medialen und lateralen Randes des Schenkelbeins oder der betreffenden Ränder des Schienbeins. Dabei hängen die medialen und lateralen Osteophyten der proximalen Epiphyse des Schienbeins enger miteinander zusammen, als die identisch orientierten Osteophyten der distalen Epiphyse des Schenkelbeins: bei mehr als 75 Jahre alten Frauen gleicht der Koeffizient der polychorischen Abhängigkeit im ersten Fall 0,52 und im zweiten Fall 0,10.

Die Alterssymptome der Knochen des Ellbogengelenks zeigen eine geringere Abhängigkeit als die Altersänderungen der Knochen des Kniegelenks. Von 10 Korrelationskoeffizienten, die wir für die Knochen des Kniegelenks berechnet haben, lagen acht über 0,2. Bei den Knochen des Ellbogengelenks beträgt das Verhältnis der über 0,2 liegenden Koeffizienten zur Gesamtzahl der ermittelten Koeffizienten 4 : 14.

Ein Vergleich der Knochenteile des Knie- und Ellbogengelenks brachte die relative gegenseitige Unabhängigkeit ihrer Altersänderungen zutage. Aber die Osteophyten des Lateralrandes der distalen Epiphysen des Oberarm- und Schenkelbeins besitzen Koeffizienten der polychorischen Abhängigkeit von 0,46 (60—74 Jahre) und 0,04 (75 und mehr Jahre). Bei den Osteophyten des Medialrandes derselben Epiphysen gleicht dieser Koeffizient 0,30 (60—74 Jahre) und 0,08 (75 und mehr Jahre). Diese Beispiele lassen erkennen, daß das Altern der verschiedenen Teile des subchondralen Knochengewebes und des Gelenkknorpels im fortgeschrittenen Alter synchroner verläuft als im hohen Alter.

Allerdings kommen auch Fälle vor, in denen sich der Grad der Übereinstimmung zwischen den Alterssymptomen der Knochen vom fortgeschrittenen zum hohen Alter nicht verringert sondern verstärkt.

Die Änderungen der Meßwerte, die im Verlauf zweier Jahre bei den Knochen des Knie- und Ellbogengelenks eintreten, stehen in einer unmittelbaren Abhängigkeit: von 25 wiesen bloß 4 Korrelationskoeffizienten negative Werte aus. Das bedeutet, daß die Vergrößerung oder Verkleinerung des einen Knochens meist auch von einer Vergrößerung oder Ver-

kleinerung des anderen Knochens begleitet wird. Wir verglichen die betreffenden Maße der Knochen des Oberarms und Oberschenkels, des Unterarms und Unterschenkels, und überzeugten uns, daß gegenseitige Wechselbeziehungen bestehen. Von 15 Koeffizienten wiesen neun Minuswerte aus. So sind zum Beispiel die Breitenänderungen der distalen Epiphysen des Oberarm- und Schenkelbeins im Laufe von zwei Jahren durch die Korrelation 0,34 gegeben, wobei $p < 0,05$ ist. „Gekreuzte“ Bindungen von Symptomen — Änderungen der Durchmesser der Basis des II. Metacarpus und des Gelenkkopfes des II. Metatarsus und umgekehrt des metacarpalen Gelenkkopfes und der metatarsalen Basis — lassen während zweier Jahre niedrigere Korrelationskoeffizienten erkennen als die parallelen Bindungen dieser Merkmale.

DER ZUSAMMENHANG ZWISCHEN DEM ALTERN DES SKELETTS UND DEM KÖRPERBAU

Die konstitutionellen Besonderheiten des Alterns des Oberarmbeins, der Elle, Speiche, des Oberschenkel-, Schien-, Fersen-, Sprung- und Kahnbeins sowie der Fingerglieder, haben wir bei russischen Männern und Frauen aus Moskauer Altersheimen verfolgt. Nach den Indexen des Körperbaus reihten wir die Probanden in eine brachymorphe und eine dolichomorphe Gruppe (die Grenzgruppen der Körperproportionen) und in eine hypertrophe und eine hypotrophe Gruppe (die Grenzgruppen des Grades der Fettablagerung) ein. Die Indexe des Körperbaus dieser Gruppen waren dementsprechend größer oder kleiner als die um den Wert der maßgebenden Abweichung vergrößerten oder verkleinerten arithmetischen Mittelwerte. Eine Zwischenstellung nahmen Menschen mit mesotrophem und mesomorphem Körperbau ein. Bei den extremen Konstitutionstypen wurde die Intensität der Alterssymptome des subchondralen Knochengewebes und des Gelenkknorpelgewebes verglichen. Außerdem berechneten wir die Korrelationskoeffizienten der Alterssymptome der Handknochen und der Merkmale des Körperbaus. Bei den brachy-, meso- und dolichomorphen, den hyper-, meso- und hypotrophen Frauen wurde die durchschnittliche Breite der distalen Epiphyse, die Stärke der Kompaktasubstanz an den medialen und lateralen Diaphysenrändern und das Lumen der Pulpahöhlen des Schenkelbeins im Durchschnitt berechnet. Bei der Summierung der Ergebnisse berücksichtigten wir den Umstand, daß bei den Grenzgruppen des Körperbaus in der Regel die Brachymorphie mit der Hypertrophie und die Dolichomorphie mit der Hypotrophie Hand in Hand gehen. Dieser Umstand bedingt die reale Existenz zweier Grenztypen des Körperbaus: eines untersetzten und dicken (Typ Sancho Pansa) und eines aufgeschossenen und mageren (Typ Don Quichote). Den ersten Typ nennt man brachy-hypertroph, den zweiten dolicho-hypotroph.

Wie die röntgenologische Untersuchung der Hand zeigte, sind bei brachy-hypertrophen älteren und alten Männern (60—89 Jahre) und reifen und älte-

ren Frauen (45–74 Jahre) die Osteophyten in der Umgebung der Gelenke stärker entwickelt als bei Menschen desselben Alters mit dolicho-hypotrophem Körperbau. Der ulnare Osteophyt des Gelenkkopfes des mittleren Fingerglieds betrug in der nach dem Höhen-Gewichtsindex hypertrophen Gruppe der 60–74jährigen Männer durchschnittlich $1,91 \pm 0,15$, der hypotrophen Gruppe $1,37 \pm 0,12$ Punkte. Der Unterschied ist bei $p < 0,01$ signifikant. Der radiale Eberdensché Knoten, die Dichte der Spongiosa des Mittelglieds des dritten Fingers und die

reichte bei alten Frauen mit hypertrophem Körperbau Werte von $2,0 \pm 0,26$, bei alten Frauen mit hypotrophem Körperbau nur von $0,81 \pm 0,26$ Punkten. Die Osteophyten am Oberrand der Patella wurden bei brachy- und dolichomorphen 75–89 Jahre alten Frauen mit $1,30 \pm 0,26$ und $0,72 \pm 0,22$ Punkten gewertet.

Die konstitutionellen Alterssymptome treten nicht bei allen Skeletteilen gleich intensiv hervor. Bei dem Vergleich von 50 Symptompaairen am Fußskelett (nach den verschiedenen Symptomen des

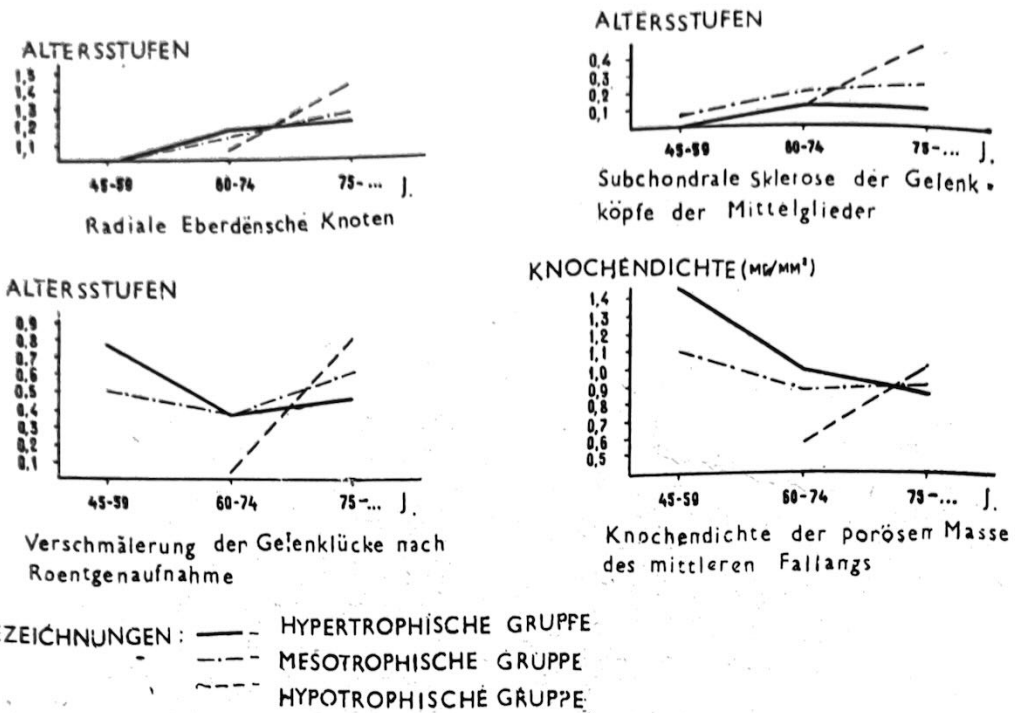


ABB. 25

Die Zusammenhänge zwischen den Besonderheiten des Alterns der Handfingerglieder und der Dicke der Unterhautfettsschicht bei Frauen aus Moskau.

Verdünnung des Gelenkknorpels bei den distalen Zwischengelenken der Phalangen, die man nach der Verschmälerung der Gelenklücke erkennt, sind bei hypertrophen Frauen im Alter von 60–74 Jahren markanter als bei hypotrophen Frauen desselben Alters (Abb. 25). Die subchondrale Sklerose der Gelenkköpfe der Mittelglieder ist bei diesen Altersgruppen der hypo- und hypertrophen Frauen gleich stark. Nach dem 75. Lebensjahr sind dann alle beschriebenen Symptome bei hypotrophen Frauen stärker entwickelt als bei hypertrophen (Abb. 25).

Nach den Ausmaßen der Osteophyten in der Umgebung des Schulter-, Ellbogen- und Kniegelenks und des Fußes zu schließen, übertreffen die brachyhypertrophen Frauen die dolicho-hypotrophen nicht nur im höheren sondern auch im hohen Alter. So entsprechen zum Beispiel bei 60–74jährigen brachymorphen Frauen die Osteophyten am hinteren und vorderen Oberrand des Kahnbeins $0,89 \pm 0,21$ und $0,44 \pm 0,18$ Punkten, während sie bei gleich alten dolichomorphen Frauen nicht entwickelt waren. Im Greisenalter (75–89 Jahre) maß der untere Sporn des Fersenbeins bei brachymorphen Frauen $1,50 \pm 0,49$, bei dolichomorphen Frauen nur $0,27 \pm 0,14$ Punkte. Der obere Sporn des Fersenbeins er-

Alterns und den Charakteristiken des Körperbaus) wurden in 22 Fällen Unterschiede zwischen den Grenzgruppen des Körperbaus bei $p < 0,1$ festgestellt. Das entspricht 44 % der Fälle. Im Gegensatz zum Fuß war der Prozentsatz der signifikanten Unterschiede der Größe der Osteophyten bei $p < 0,1$ zwischen den extremen Konstitutionsgruppen hinsichtlich der Knochen des Kniegelenks geringer. Von 100 verglichenen Symptompaairen unterschieden sich voneinander nämlich bloß 18 (18 %) mit dem erwähnten Grad der statistischen Wahrscheinlichkeit.

Unsere Ergebnisse werden von J. Kellgrens und J. Lawrence's (1958) Angaben über die Zusammenhänge zwischen dem Grad der Fettablagerung und dem Altern der Handfingerglieder bestätigt und ergänzt. Wir können aber mit R. Stecher (1955) nicht übereinstimmen, der einen Einfluß des Körperbaus auf das Altern der Handknochen deshalb bestreitet, weil sie einen von statischer Belastung freien Körperteil vorstellen. Bei dem Vergleich der konstitutionellen Besonderheiten des Alterns statisch beanspruchter Knochen stellen wir fest, daß sie am Fuß den markantesten Ausdruck finden.

Einige allgemeine Fragen des Alterns des Skeletts

In der Literatur existiert keine allgemein anerkannte Definition des Begriffs „Altern“. Was das Skelett anbelangt, wurde dieser Begriff noch überhaupt nicht konkretisiert.

Man hält das Altern für einen endogenen Prozeß, der mit den Einflüssen der Außenwelt nicht zusammenhängt. Zugleich wird das Altern meist als Funktion des Wachstums angesehen. Mit den Worten I. V. Davydovskis (1966, S. 33): „Das Altern ist eine Funktion von Zeit und Raum, vor allem aber eine Funktion der Zeit.“ In diesem Zusammenhang kann das Altern des Skeletts als mit zunehmendem Alter eintretende Änderungen der Knochen charakterisiert werden. Notwendige Voraussetzungen dieser Änderungen sind die Aktivierung der Osteogenese und Osteoklasten (nach Minimalwerten zwischen dem 30. bis 49. Lebensjahr steigert sich das Tempo dieser Prozesse später) und vor allem das Überwiegen des Abbaus vor dem Aufbau der Knochen. Auf diese Weise läßt sich die Zunahme der Symptome des Alterns der Knochen mit steigendem Alter erklären, insbesondere das Wuchern der Knochensubstanz an den Rändern der Gelenkflächen und den Ansatzstellen der Muskel- und Bänder, die zystösen Änderungen der Spongiosa der Epiphysen, das Dünnerwerden der Kompakta und das Schütterwerden der Spongiosa.

Man kann also das Altern der Knochen als Änderung charakterisieren, die nicht von außen provoziert wird und zu der es bei erwachsenen Menschen mit zunehmendem Alter kommt; diese Änderung wird von dem Aufbau und Umbau der Knochen bedingt, wobei der Zerfall ihrer Substanz überwiegt.

Das Altern des Skeletts ist ein dialektischer Prozeß, der einerseits zu metrischen Verkleinerungen des Skeletts und seiner Teile (Körperhöhe, Rumpfhöhe und Gliedmaßenlänge), andererseits aber auch zu metrischen Vergrößerung mancher Knochen führt, die unter bestimmten Bedingungen wieder von Verkleinerungen abgelöst werden. Wachstum und Altern der Knochen darf man in keinem unversöhnlichen Gegensatz sehen. Wenn wir die Vergrößerung der äußeren Meßwerte der Knochen für eine Wachstumserscheinung ansehen, dann zeigt es sich, daß sie nicht nur für junge, sondern auch für alternende Knochen gilt.

Wir klärten dies am Beispiel des Oberarmbeins, der Elle und Speiche, des Schenkel-, Waden- und Schienbeins, der Metacarpal- und Metatarsalknochen. Vor dem Hintergrund der allgemeinen Tendenz einer metrischen Vergrößerung der Knochen mit zunehmendem Alter, die sich bei allen Knochen deutlich äußerte, wurden auch entgegengesetzte Tendenzen beobachtet — metrische Verkleinerungen mancher Knochen. Die Analyse der mechanischen Tätigkeitsbedingungen zeigte, daß sich die Knochen im Laufe des Alterns bei mechanischen Überbelastungen am wenigsten vergrößern. Wenn

wir den Gesundheitszustand der untersuchten Personen in Betracht ziehen, stellen wir fest, daß bei alternden Menschen, die unheilbar krank waren und in den folgenden 2—3 Jahren starben, die Vergrößerungen der Knochen weniger markant waren als bei Menschen, die in dieser Zeit am Leben blieben.

Die mit den metrischen Änderungen der Knochen zusammenhängenden neuen Alterssymptome, die wir feststellen konnten, erfordern eine Revision der bisherigen Klassifikation des Alterns der Knochen.

In der einschlägigen Literatur findet man eine Begründung der degenerativ-dystrophischen Änderungen (Äußerungen des physischen Alterns) und der degenerativ-dystrophischen Störungen (Äußerungen des pathologischen Alterns), die D. G. Rochlin (1957) und N. S. Kosinska (1963) entworfen haben. Diese Klassifikation umfaßt jedoch nicht alle Symptome des Alterns des Skeletts und beschränkt sich auf die subchondrale Spongiosaschicht der Epiphysen, die unter den Gelenkknorpeln liegt.

D. G. Rochlins und N. S. Kosinskas Klassifikationsprinzip stützt sich auf das Maß des Symptoms, den Grad seiner Ausprägung. Dieses Prinzip ist zwar als fachliches Kriterium bei der Wertung der Arbeitsfähigkeit nützlich, vermag jedoch den qualitativen Charakter der Symptome und Mechanismen ihrer Entstehung nicht zu erfassen. Außerdem ist das quantitative Kriterium durchaus bedingt, weil man das betreffende Symptom bei identischer Ausbildungsstufe als degenerativ-dystrophische Änderung oder vom Lebensalter des Menschen abhängige Störung oder Lokalisierung des Symptoms deuten kann.

Neue Perspektiven einer biologischen Klassifikation der Alterssymptome entstanden, als B. Streler (1964) vier Kriterien der Altersänderungen formulierte. Die oben beurteilten Formen des Alterns der Knochen entsprechen den ersten drei Bedingungen: sie sind universal, denn sie erscheinen bei jeder der drei untersuchten Bevölkerungsgruppen; sie entwickeln sich schrittweise, wobei der Grad ihrer Ausprägung mit zunehmendem Alter steigt; sie besitzen bei Knochen, die verschiedenartigen mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt sind, dieselbe Tendenz, was für den endogenen Ursprung der Symptome des Alterns spricht.

Die wichtigste Eigenschaft der Altersänderungen beruht nach Streler in der Tatsache, daß sie auf den Organismus zersetzend wirken und die Wahrscheinlichkeit des Todes erhöhen. Allerdings ist das Altern ein widerspruchsvoller Prozeß. Auf Grund des Absinkens der Vitalität entstehen nämlich auch bis zu einem bestimmten Grad kompensationsänderungen, die den Organismus stärken. Man kann voraussetzen, daß auch im Laufe des Alterns der Knochen kompensative Anpassungen eintreten. Wenn sich zum Beispiel die Breite der Diaphyse vergrößert, ist der Röhrenknochen nach der Lehre von der Festigkeit der Materiale imstande, auch bei einer geringeren Menge von Knochensubstanz eine angemessene Widerstandskraft aufzubringen. Das Zunehmen der subchondralen Sklerose steht mit dem Dünner-

werden des Knorpels und der subsidiären Belastungsfähigkeit des subchondralen Knochengewebes im Kausalzusammenhang. Deshalb stellt der Grad der subchondralen Sklerose eigentlich zugleich auch das Maß des Schutzes der Spongiosa der Epiphysen vor Beschädigungen vor. Das Wachsen der Osteophyten an den Ansatzstellen der Sehnen vergrößert den Hebelarm und das Drehmoment der Muskel. Wenn man die Verringerung der Muskelkraft mit zunehmendem Alter berücksichtigt, muß man auch die Kompensationsfunktion der Gelenkosteophyten anerkennen, von der u. a. D. G. Rochlin (1964) spricht.

Angesichts der Bedeutung der unterschiedlichen Formen des Altersumbaus der Knochen vom Standpunkt der Mechanik schlagen wir eine neue Klassifikation der Symptome des Alterns vor. Wir unterscheiden nämlich die eigentlichen Altersänderungen, die den alternden Knochen schwächen, und die kompensativen Altersänderungen, die den alternden Knochen, dessen Substanz schwindet und dessen Gelenkknorpel dünner werden, stärken.

Zur ersten Gruppe der eigentlichen Altersänderungen könnte man folgende Symptome zählen: Die Verschmälerung der Epiphysen und Diaphysen der Langknochen, das Dünnerwerden der Kompakta und Schütterwerden der Spongiosa, die Verkleinerung der knöchernen Auswüchse in der Umgebung der Gelenke und das Abnehmen der subchondralen Sklerose bei abnehmender Stärke des Gelenkknorpels, die Verkleinerung der Osteophyten an den Ansatzstellen der Sehnen und Bänder, die Ausbildung von Osteonen geringer Durchmesser.

Als kompensative Altersänderungen können gelten: Die Erweiterung der Epi- und Diaphysen der Langknochen, die Verstärkung der Kompakta und Schließung der Knochenplättchen (subchondrale Sklerose), die Bildung von Osteophyten an den Rändern der Gelenkflächen und den Ansatzstellen der Zwischengelenkmuskel und Bänder. Zu diesen Änderungen zählen wir auch die Verringerung der Projektionslänge der Gliedmaßenknochen und die zunehmende Durchbiegung ihrer Diaphysen und Epiphysen, die mit dem unzureichenden Beugen in den großen Gelenken zusammenhängt.

Aber auch das Entstehen von Osteonen größerer Durchmesser könnte man als kompensative Altersänderung auffassen. Dabei bleibt die mechanische Beanspruchung hoch, die das Osteon auszuhalten hat, abgesehen von der großen Breite seines Querschnitts — des Haversschen Kanals, die mit dem Schwinden der Knochensubstanz zusammenhängt. Eine kompensative Funktion besitzt auch das Verwachsen der Schädelnähte, denn es bewirkt nach der Meinung mancher Autoren (L. Bolk, 1920; M. I. Uryson, 1960) eine Besserung der mechanischen Eigenschaften des Schädels.

Die kompensative Bedeutung der ausgleichenden Altersänderungen ist natürlich begrenzt, weil beispielweise die übermäßige Entwicklung der Auswüchse der Knochenränder zu Erkrankungen der Gelenke — zur deformierenden Arthrose führen. Auch eine übermäßige Erweiterung der Knochen hat Deformationen zur Folge.

In der Literatur ist die Ansicht verbreitet, das Altern sei ein Prozeß, der von der Störung der Adaptationsmöglichkeiten des Organismus charakterisiert wird. „Das Altern“ — sagt A. Komfort (1968) — „verläuft im Organismus, wenn die Anpassungsprozesse die Möglichkeit einbüßen, die Homeostase zu unterstützen.“ Nach diesem Autor ist das Altern ein Komplex von Störungen und Beschädigungen, die auf verschiedenen Ebenen entstehen. Mit dieser Ansicht können wir nicht übereinstimmen. Das Altern bedeutet nicht nur Störungen und Beschädigungen des Alten, sondern auch einen ökonomischeren Umbau des Neuen. V. V. Frolikis (1968) hat recht, wenn er bemerkt, das bekannte Axiom von der Einschränkung der Adaptationsmöglichkeiten durch das Altern sei nur zur Hälfte wahr. Bei dem Altern verschmälert sich der Anpassungsbereich mancher Systeme beträchtlich, anderer Systeme überhaupt nicht, und erweitert sich sogar bei manchen Systemen.

Das Skelett gehört zu jenen Körpersystemen, deren Anpassungsfähigkeit sich mit zunehmendem Alter vergrößert, wenigstens bis zu einem bestimmten Lebensalter. Das Tempo des Aufbaus und Abbaus der Knochen, das auch das Tempo ihres Umbaus bestimmt, steigert sich nach ursprünglich niedrigen Werten zwischen dem 30. und 49. Lebensjahr mit zunehmendem Alter. Es wächst auch die Fähigkeit der Knochen zu adaptiven tektonischen Umstellungen. Das Stimulans der kompensativen Knochenänderungen ist bei der Spannung zwischen der mechanischen Beanspruchung der Knochen und ihren mechanischen Möglichkeiten zu suchen. Die mit erhöhter Fettablagerung verbundene Zunahme des Körpergewichts mit steigendem Alter führt zu einer Diskrepanz mit der verringerten Massivität der atrophierenden Knochen, die diese Last zu tragen haben.

Außerdem verringert die Fettablagerung wahrscheinlich die Festigkeit der Gelenkknorpel und beschleunigt dadurch das Dünnerwerden des Knorpelgewebes und die Kompensationsänderungen des subchondralen Knochengewebes. Der Mechanismus der Einflüsse der Fettablagerung auf die Knorpel der Gelenke wurde noch nicht geklärt. Es ist möglich, daß gerade die Anhäufung von Lipoiden in den Chondrozyten die Ursache des Alterns der Knorpel ist (T. Tinacci, S. Brunori, 1959).

Ohne die Frage einer Klärung dieser Probleme vom physiologischen Standpunkt berühren zu wollen, fassen wir zusammen:

Die Festigung der Knochen verläuft im Rahmen ihrer kompensativen Änderungen. Diese erhöhen die relative Qualität der Knochen hinsichtlich ihrer mechanischen Konstruktion, sichern die bestmögliche Erfüllung ihrer Funktion, verleihen ihnen die nötigen Festigkeitsreserven und sonstigen Eigenschaften, die nach A. A. Mrkosjan (1968) ihre biologische Verlässlichkeit charakterisieren.

Die Ergebnisse unserer Forschungen erfassen nicht das ganze Skelett, sondern die Schädel- und Gliedmaßenknochen. Doch wäre es kaum begründet anzunehmen, daß sich die Formen des Alterns des Wirbelsäuleskeletts grundsätzlich anders äußern,

und daß der mechanische und konstitutionelle Faktor bei ihnen auf eine andere Weise zur Wirkung kommt. So erweitern sich beispielsweise auch die Wirbel auf ähnliche Weise wie die Gliedmaßenknochen im Laufe des Alterns, ihre Pulpahöhlen vergrößern sich, während ihre Kompakta dünner wird (H. Frost, 1963, 1964). Wir sehen die Klärung der in unserer Arbeit gebotenen Gesetzmäßigkeiten des Alterns der Knochen als charakteristisch für alle Teile des Skeletts an und bestätigen zugleich die Existenz von lokalen Besonderheiten der Prozesse des Alterns.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

1. Die Körperhöhe, Länge des Rumpfes, der Gliedmaßen und ihrer Segmente, die Länge und Breite von Hand und Fuß verringern sich im Laufe des Alterns; das Becken wird breiter.

2. Bei den Altersgruppen *adultus*, *maturus* und *senilis* vergrößern sich folgende metrische Werte: Die Epiphysen und Diaphysen verbreitern sich, die kurzen Röhrenknochen werden länger, das Fersen- und Sprungbein wird höher und länger. Die Pulpahöhlen der Knochen erweitern sich, die Kompaktasubstanz nimmt an Stärke ab. Wenn das Altern von zum Tode führenden Erkrankungen kompliziert wird, sind die Erweiterungen der Knochen weniger markant und die Kompakta wird noch dünner als bei Menschen, die ohne Komplikationen altern und während der Untersuchung am Leben blieben.

3. Die spezifische Tempo des periostalen Knochenaufbaus und des endoostalen Knochenabbaus verringert sich nach anfänglich hohen Werten in der Reifezeit des menschlichen Organismus zwischen 30 und 49 Jahren, um dann zu steigen. Im hohen Alter sinkt das Tempo des Knochenaufbaus wieder ab.

4. Die Osteophyten in der Umgebung der Gelenke sind an den Gelenksköpfen der mittleren Handfingerglieder, an der Basis des Fersenbeins, am Medialrand des Gelenkskopfes der Elle, an der oberen Epiphyse des Schienbeins und am Hinterrand des Kahnbeins markanter ausgebildet. Die Knochen des Kniegelenks ändern sich im Laufe des Alterns mehr als die Knochen des Ellbogengelenks.

5. Die Nähte der Augenhöhlen des Menschen verwachsen früher als die Nähte der Hirnschale und des Gesichtsskeletts. Die Zeit der Obliteration der Schädelnähte ist bei verschiedenen Populationen nicht identisch.

6. Die Gelenkenden der meisten Gliedmaßenknochen altern bei Frauen stärker als bei Männern. Zur Obliteration der Schädelnähte kommt es dagegen bei Männern früher als bei Frauen; sie beginnt am mittleren Teil der Pfeilnaht, bei Frauen später, am lateralen Drittel der Kranznaht.

7. Das Altern der Mikrostrukturen der Kompakta äußert sich in einem Dünnerwerden der gemeinsamen Plättchen, in einer absoluten und relativen Erweiterung der Haversschen Kanäle, in einer Verbreiterung und später folgenden Verschmälerung der Osteone.

8. Die Symptome des Alterns entwickeln sich bei verschiedenen Knochen in bestimmten gegenseitigen Abhängigkeiten. Diese sind bei den Knochen des Kniegelenks markanter als bei den Knochen des Ellbogengelenks. Alterssymptome, die später auftreten, hängen enger zusammen als frühzeitig erscheinende Alterssymptome. Der Grad der gegenseitigen Zusammenhänge ändert sich bei dem Übergang von der Altersstufe *maturus* zur Altersstufe *senilis*.

9. Das Altern der Knochen hängt mit dem Körperbau zusammen. Bei brachymorphen und hypertrophen Menschen ist die Intensität des Alterns der Knochen der Hand und des Fußes, des Schulter-, Ellbogen- und Kniegelenks höher als bei dolichomorphen und hypotrophen Menschen. Die Osteone und Haversschen Kanäle sind bei brachymorphen und hypertrophen Männern breiter als bei dolichomorphen und hypotrophen.

10. Die lokalen Besonderheiten des Alterns der Knochen sind funktionell bedingt. Die Maße der Osteophyten an der Rändern der Gelenkflächen vergrößern sich mit erhöhter mechanischer Beanspruchung, während übermäßige Beanspruchungen ihre Entwicklung hemmen.

LITERATUR

- ALEKSEJEVA, T. I., SMIRNOVA, N. S., PAVLOVSKIJ, O. M., 1963: Priznénnoje opredélenije mineralnoj nasyščenosti skeleta čeloveka s pomoščju rentgenofotometrii. *Vopr. antropol.* No 15, 3–20.
- ANGEL, J. K., 1960: Age change in obesity. *Human Biol.* 32, No 4, 342–365.
- ARENS, W., 1955: Arthrosis bei Leistungssportlern. *Menschl. Unfallheilk.* 58, Suppl. 48, 101–105.
- ASTATIN, L. P., 1951: Vozrastnyje izmenenija mikrostrukturny korotkich trubčatych kostej kisti čeloveka. *Izv. Akad. Ped. Nauk RSFSR*, No 35, 117–140.
- AXT, Ch., 1960: Bewirkt Schwerarbeit vermehrte Verschleißerscheinungen am Haltungs- und Bewegungsapparat. *Z. Orthopäd.* 92, No 3, 402–410.
- BETURNE, S., 1960: Dvigatelnyj apparat. *Osnovy gerontologii pod red. L. Bine a F. Burljeva. Moskva*, 301–322.
- BJERKEDAL, T., NATVIG, H., 1966: Changing in Blood Pressure with Age. *Acta med. scand.* 180, No 3, 257–272.
- BOLK, L., 1920: Über Metopismus. *Ztschr. Morph. Antrop.* 21, No 1, 209–226.
- BUNAK, V. V., 1927: *Crania armenica, Moskva*.
- CURREY, J. D., 1964: Metabolic starvation as a factor in bone reconstruction. *Acta anat.*, 59, No 1–2, 77–83.
- DAVIDOVSKIJ, I. V., 1966: Gerontologija. *Izd. Medicina, Moskva*.
- ETINGEN, L. E., NIKITYUK, B. A., BELKIN, V. Sh., 1969: Sur les causes de brachycephalie chez les montagnards. *L'Antropol.* 73, No 5–6, 401–408.
- FROL'KIS, C. V., 1968: Mechanizmy prisposobenija starjuščego organisma. *Kijev*, 11–44. *Publ. Prisposobit. vozmožnosti starjuščego organisma*.
- FROST, H. M., 1963: Bone remodelling dynamics. *Springfield*.
- FROST, H. M., 1964: Mathematical elements of lamellar bone remodelling. *Springfield*.
- FUDEL-OSIPOVA, S. I., 1968: Starenije nervno-myšičnoj sistemy. *Zdorovja, Kijev*.
- FUSCO, M., PUGGI, E., ROSSI, A., SESSA, G., 1963: L'azione della vibrazioni sull' apparate circolatorio periferico e sulla colonna vertebrale. *Folia med.* 46, No 5, 361–372.
- GARN, S. M., ROCHMANN, Ch. G., WAGNER, B., ASCOLI, W., 1967: Continuing bone growth throughout life: a ge-

- neral phenomenon. *Amer. J. Phys. Anthropol.* 26, No 3, 313-318.
- GARN, S. M., WAGNER, B., ROCHMANN, Ch. G., ASCOLI, W., 1968: Further evidence for continuing bone expansion. *Amer. J. Phys. Anthropol.* 28, No 2, 219-221.
- GHEORGHIU, A., ENEA, G., GEORGHIU, F., JOFCEA, S., MODVAL, V., NICOLAESCU-PIOPSOR, D., SILVEANU, R., SURDU, I., ULEIA, E., 1954: Cercetări privind determinarea virstei și sexului pe scheletele umane. *Probl. Anthropol.* 1, 127-192.
- GINZBURG, V. V., 1947: Ob izmeneniji razmerov tela čeloveka v periode vozmuzhalosti. *Trudy VMA im. S. M. Kirova*, 38, 346-358.
- KELLGREN, J. H., LAWRENCE, J. S., 1958: Osteoarthritis and disk degeneration in an urban population. *Ann. Rheumat. Dis.* 17, No 4, 388-397.
- KOMFORT, A., 1968: Adaptacija i starenije kletok. In: *Prisposobitel'nyje vozmožnosti starjuščego organisma*. Kijev, 45-60.
- KOSINSKAJA, N. S., 1963: Degenerativno-distrofičeskie processy v kostnosustavnom apparate (osnovnyje položennija i terminy). *Publ. Starost i jejo zakonmernosti, Leningrad, Medgiz.* 257-282.
- KÜHLER, R., 1955: Sportbedingte Insuffizienzschäden der Tarsalknochen. *Dtsch. Gesundh. Wes.*, 10, No 23, 802-807.
- IUTWAK, L., WHEDON, G. D., 1962: Osteoporosis - a disorder of mineral nutrition. *Borden's Rev. Nutr.*, 23, No 4, 45-66.
- MAŠKARA, K. I., 1966: Osobennosti voznrastnoj perestrojki sustavov kisti u predstavitelej nekotorych rabočich specialnostej. *Archiv anat. gist., embrol.*, 50, No 1, 3-9.
- MRKOSJAN, A. A., 1968: Prisposobitel'nyje processy i nadežnost sistemy gemokoaguljacii v požilom voznrašč. *Publ. Prisposobitel'nyje vozmožnosti starejuščego organisma*, Kijev, 178-191.
- NAJNIS, I. V. I., 1965: Vozrastnyje izmenenija mikrostruktury diafiza plečevoj i bedrennoj kostej v sudebno-medicinskom otnošenii. *Publ. Naučnoje obščestvo sudebnych medikov Lit. SSR. Sbornik trudov, t. II, Kaunas, Sviesa*, 54-59.
- NECRASOV, O., 1960: Studiul obliterarii suturilor si abraziunii dentare la craniile preistorice. *An. stiint. Univ. Iasi, Sec. 2, 6, No 3*, 667-680.
- NIKITJUK, B. A., 1965: Certaines particularités de l'obliteration sénile des sutures du crâne des hominides contemporains et fossiles d'après des données d'anatomie comparée. *Gerontologia, II, No 3/4*, 235-249.
- NIKITJUK, B. A., 1968: Experimental-morphologische Untersuchungen über die Bedeutung der Kaufunktion bei der Gestaltbildung des Säugetierschädels. *Deutsche Zahn-Mund- und Kieferheilkunde*, 50, H. II/12, 465-480.
- NIKITJUK, B. A., 1965: Sravnitel'noanatomičeskoje issledovanije oblitteracii švov kryši čerepa placentarnych mlkopitajuščich. *Zool. žurnal*, 44, No 12, 1842-1849.
- PINTER, I., 1960: Az ember koponyavarratainak eleikör ésnem szerinti variocioja. *Antropol. Közl.* 4, No 3-4, 95-101.
- PRIVES, M. G., 1959: Nekotoryje itogi issledovanija vlijanija truda i fizičeskich upražnenij na strojenije apparata dviženija čeloveka. *Archiv anat., gist. i embryol.*, 36, No 5, 7, 18.
- RACHIMOV, Ja., A., ETINGEN, L. E., BELKIN, V. Š., USMANOV, M. U., 1968: Morfologija vnutrennyh organov v uslovijach vysokogorja. *Ed. Doniš, Dušanbe*.
- ROBERTS, J., BURCH, T. A., 1966: Prevalence of osteoarthritis in adults by age, sex, race and geographic area. *Washington*.
- ROCHLIN, D. G., 1936: Skelet kisti i distalnogo otdela predplečja. *Rentgenoosteologija i rentgenoanthropologija. Čast. I. Leningrad-Moskva*.
- ROCHLIN, D. G., 1957: Starenije kostnosustavnogo apparata konečnostej v rentgenovskom izobraženiji. *Publ. Majkova-Stroganova V. S. I Rochlin D. G., Kosti i sustavy v rentgenovskom izobraženiji. Konečnosti. Leningrad*, 160-179.
- ROCHLIN, D. G., 1964: O nekotorych adaptacionnyh i kompensatornyh izmenenijach v kostno-sustavnom apparate. *Trudy Leningradskogo naučno-issledovatel'skogo instituta expertizy trudospobnosti i organiz. truda invalidov. No 16*, 292-301.
- ROCHLIN, D. G., 1963: Projavlenija starenija v oblasti loktevoego sustava (rentgenologičeskoje issledovanije). *Publ. Starost i jejo zakonmernosti. Medgiz, Leningrad*, 360-365.
- ROCHLIN, D. G., 1963: Stravitelnyje dannyje ob izmenenijach v tempe starenija skeleta kisti. *Publ. Starost i jejo zakonmernosti. Tr. Lietin, vyp. IX, Medgiz, Leningrad*, 366-368.
- RYČKOV, Ju. G., 1969: Antropologija i genetika izolirovannyh populjacij (drevnije izoljaty Pamira). *Ed. MGU Moskva*.
- SAKUN, P. S., 1966: Vlijanije geriatriceskich sredstev na starenije kostno-sustavnogo apparata konečnostej v rentgenovskom izobraženiji. *Publ. Probl. gerontol. i geriatrije v ortopediji i travmatol., Kijev, Zdorov'ja*, 145-146.
- SMITH, R. W., RIZEK, J., 1966: Epidemiologic studies of osteoporosis in women of Puerto Rico and South-Eastern Michigan with special reference to age, race, national origin and to other related or associated findings. *Clin. Ortop.*, 45, 31-48.
- SMITH, R. W., WALKER, R. R., 1964: Femoral expansion in aging women: implications for osteoporosis and fractures. *Science*, 145, No 3628, 156-157.
- STECHEER, R. M., 1955: Herberden's nodes. A clinical description of osteoarthritis of the finger joints. *Ann. Rheum. Dis.*, 14, No 1, 1-10.
- STRELER, B., 1964: Vremja, kletki i starenije. *Ed. Mir, Moskva*.
- TINACCI, F., BRUNNORI, M., 1959: Artosi sperimentale da iparalimentazione grassa del ratto; benefico effetto del trattamento con fattori lipotropi. *Areg. studio fisiopatol. e clin. ricambio*, 23, No 3-4, 174-187.
- TROTTER, M., PETERSEN, R. R., WETTE, R., 1968: The secular trend in the diameter of the femur of American whites and negroes. *Amer. J. Phys. Anthropol.*, 28, No 1, 65-73.
- URYSON, M. I., 1960: Nekotoryje osobennosti netypičeskyh čerepov, svjazannyje so stepenju razvitija ževatelnoj muskulatury. *Vopr. antropol.*, No 1, 31-44.
- VOSE, G. P., STOVER, B. J., MACK, P. B., 1961: Quantitative bone strength measurements in senile osteoporosis. *J. Geront.*, 16, No 2, 120-124.

B. A. NIKITJUK,
Lehrstuhl für Anatomie des Menschen
des I. Moskauer medizin. Inst., UdSSR.