

PIOTR K. T. LEWICKI, KAZIMIERZ KOWALSKI

ZALEŻNOŚĆ POMIĘDZY FUNKCJĄ RĘKI A MORFOLOGIĄ KOŚCI ŚRÓDRĘCZA I PALCÓW

W licznych badaniach anatomicznych i antropologicznych spotyka się mniej lub bardziej udane próby oceny roli czynników wewnętrznych i zewnętrznych względem organizmu w formowaniu właściwych kształtów i wielkości osobnika. Każda analiza, której celem jest wyjaśnienie znaczenia dla organizmu tych czynników, musi opierać się na właściwym rozoznaniu jakościowego charakteru każdego z nich i na takiej procedurze badawczej, która umożliwiałaby otrzymywanie na badanym materiale czystych efektów powodowanych przez te czynniki, przy zminimalizowaniu wpływu innych, uznanych za uboczne. Czynniki te, których wpływ minimalizujemy, mogą wywoływać zarówno efekty potęgujące obserwowane zjawisko, jak i efekty całkiem przeciwne, pomniejszając w ten sposób znaczenie badanego czynnika dla morfologii organizmu. Bardzo często jednak w badaniach antropologicznych takie postępowanie nie jest uwzględniane. W konsekwencji otrzymane wyniki nie zawsze są poprawnie interpretowane. Przykładem takiego postępowania mogą tu być niektóre badania dotyczące środowiskowego modyfikowania rozwoju. O przynależności do określonego środowiska w głównej mierze decyduje miejsce zamieszkania — np. środowisko miejskie, małomiejskie i wiejskie lub też pochodzenie — np. inteligenckie, robotnicze, chłopskie. W przypadku stosowania takiego podziału nawet przy poprawnie prowadzonych badaniach uzyskiwane różnice międzyśrodowiskowe nie odzwierciedlają wpływu żadnego określonego czynnika, lecz są jedynie miarą ogólnych różnic pomiędzy tymi grupami. Przyczyny tych różnic, przy takim postępowaniu, w zasadzie nie jesteśmy w stanie ustalić. Wynika to z dość oczywistego faktu, że tak rozumiany czynnik jest wieloskładnikowy, a każdy ze składników może mieć odmienne znaczenie jakościowe względem rozpatrywanych cech osobnika. Oprócz tego każdy z tych składników może oddziaływać z różną siłą i przez różne okresy, a także w różnych okresach rozwoju u poszczególnych badanych. Przy wszystkich analizach, których celem jest określenie związku czynnik—cecha (zmiana właściwości cechy) konieczne wydaje się wyodrębnienie jednorodnych, izolowanych czynników, a więc takich, które ujmują jakościowo równe składowe względem organizmu.

Z podobnymi trudnościami spotykamy się w piśmiennictwie dotyczącym wpływu funkcji na morfologię kończyny górnej. Przykładem takich nieporozumień interpretacyjnych mogą być prace, w których stwierdza się istnienie różnic w długości i szerokości ręki np. u uczniów szkół zawodowych, w zależności od obranej specjalności zawodowej. Autorzy dają w ten sposób milczące poparcie dla hipotezy, że z różnych funkcji wynikają różne efekty w morfologii ręki, pomimo iż brak jest informacji co do różnic funkcjonalnych pomiędzy uwzględnionymi specjalnościami, nie zwracają też uwagi na ogólną budowę ciała, od której głównie zależy budowa ręki.

Nic więc dziwnego, że ze względu na duże trudności z określeniem i wyodrębnieniem samego czynnika, wielu badaczy zajmujących się podobnymi zagadnieniami koncentruje się na stworzeniu sztucznych, laboratoryjnych warunków i dowodzeniu postawionych hipotez na materiale zwierzęcym, by później przenieść uzyskane wyniki na badania człowieka.

W przypadku analizy związku pomiędzy funkcją organu a jego morfologią trzeba przede wszystkim ustalić czy intensywność funkcji (natężenie funkcji) ma istotne znaczenie w wykształceniu określonych właściwości morfologicznych. Następnie należy określić, czy we wszystkich fazach rozwoju osobnika ten sam czynnik funkcjonalny wywołuje takie same zmiany w badanym organie. Rozpatrując związek pomiędzy funkcją kończyny górnej a morfologią układu kostnego trzeba uwzględnić fakt, że kość inaczej reaguje na obciążenia mechaniczne (w dużym uproszczeniu do takich obciążeń można sprowadzić czynność funkcjonalną) w okresie intensywnego wzrostu na długość, a inaczej po zakończeniu tego wzrastania.

Większość opinii na funkcjonalne uwarunkowanie morfologii układu kostnego w okresie jego intensywnego wzrostu można sprowadzić do dwóch przeciwstawnych poglądów. Pierwszy przypisuje decydujące znaczenie we wzrastaniu kości właściwościom autonomicznym płytki wzrostowej. Drugi pogląd opowiada się za główną rolą czynników zewnętrznych w tym procesie.

Pierwszy z wymienionych poglądów, mniej licznie reprezentowany i mający słabsze podstawy empiryczne, głosi, że wszelkie oddziaływania funkcjonalne posiadają niewielkie znaczenie w stymulowaniu i regulowaniu wzrastania kości w wymiarze długościowym. Powiększanie się kości jest zapewnione przez zdeterminowane genetycznie właściwości rozrodcze płytki wzrostowej (chrząstki wzrostowej), różne w różnych kościach i różne na różnych biegunach tej samej kości. Jeżeli nawet w okresie intensywnego wzrostu kości działać będą silne czynniki funkcjonalne, to nie są one w stanie naruszyć właściwego funkcjonowania płytki wzrostowej. Pogląd ten został poddany krytyce przez wielu badaczy. Na podstawie eksperymentów laboratoryjnych Heřt [1964], po przeszczepieniu chrząstki wzrostowej mniej aktywnej — proksymalnej, na miejsce bardziej aktywnej wzrostowo-dystalnej i po odwrotnym przeniesieniu dystalnej płytki na miej-

sce proksymalnej, stwierdził utratę poprzedniego wzorca aktywności. Przemawia to przeciw podanemu powyżej pierwszemu pogładowi uznającemu wewnętrzne, genetyczne zdeterminowanie tempa wzrostu chrząstek przynasadowych. Oczywiście nie wyklucza to możliwości istnienia lokalnego czynnika mogącego posiadać zdolność regulacji proliferacji komórek tych chrząstek. Aby wykluczyć i taką możliwość, w następnych doświadczeniach Heřt rotował płytkę wzrostową o 180° , tzn. część nasadowa płytki miała styczność z przynasadą i odwrotnie. W wyniku takiego zabiegu stwierdził, że nie zmieniło się spolaryzowanie tej płytki, co według tego autora „przemawia przeciw istnieniu humoralnych czynników pochodzenia kostnego, nasadowego i przynasadowego . . .”.

Drugi pogląd, całkowicie przeciwny, przypisuje przeważające znaczenie oddziaływaniom zewnętrznym w modyfikowaniu i stymulowaniu wzrastania kości długiej. Regulacja zewnętrzna wzrastania kości na długość nie ogranicza się jednak do określonej roli statyczno-dynamicznych obciążeń układu kostnego. Jak podaje Moss [1972], koncepcja regulacji zewnętrznej opiera się na trzech zasadniczych hipotezach. Pierwsza z nich typowo funkcjonalna głosi, że zwiększona kompresja zmniejsza wzrost kości długiej, podczas gdy zmniejszona kompresja posiada znaczenie stymulujące wzrastanie. Druga hipoteza, a raczej postulat, wskazuje na duże znaczenie, jakie ma dla pobudzenia płytki wzrostowej do szybszego rozmnażania przekrzywienie przynasadowe powstałe w wyniku zastoju żylnego. Trzecia z wymienionych przez tego autora hipotez dotyczy roli, jaką przypisuje się dodatniemu sprzężeniu zwrotnemu pomiędzy okostną, jej strukturą i elastycznością a tempem wzrastania kości na długość.

Poparcie dla trzech wymienionych wyżej hipotez znajdujemy w wielu wynikach eksperymentów. Układ kostny odbiera i przenosi przede wszystkim liczne obciążenia statyczne i dynamiczne. Z jednej strony pochodzą one z bezpośredniego oddziaływania na ten układ licznych obciążeń (siła grawitacyjna, wstrząsy mechaniczne podczas funkcji chodu, naprężenia podczas przenoszenia przedmiotów o dużej masie), a z drugiej strony pośredniego działania na kości sił przenoszonych przez układ mięśniowy w wyniku wykonywania określonych czynności. Oba typy obciążeń, bezpośredni i pośredni, posiadają zbliżone działanie i stymulują lub hamują wzrastanie kości w zależności od siły tego oddziaływania, jeżeli oddziaływanie to dotyczy wzrostowego okresu rozwoju. Moss [1972] twierdzi, że „. . . istnieją powody do wiary, że zróżnicowane tempo wzrostu na długość każdego końca głównych kości długich jest związane ze względną wielkością siły wywieranej na stawy . . .”. Stwierdzenie to popierają liczne dane literaturowe. W przypadku kończyny górnej największe obciążenie ściskowe przypada na staw łokciowy i właśnie na końcach kości tworzących ten staw obserwuje się najmniejsze tempo wzrostu długościowego, najwcześniejsze zakończenie rozwoju i fuzję nasady z pozostałą częścią kości. Podobnie dużą zgodność tempa wzrastania z obciążeniem obserwuje

się w kończynie dolnej, lecz w tym przypadku, w związku z wyższymi obciążeniami, wolniej wzrasta i prędzej kończy swój wzrost kość udowa od strony stawu biodrowego, a kość piszczelowa i strzałkowa na swych dystalnych końcach. Nierównomierny rozwój kości i różnice czasowe w utracie chrząstki nasadowej znane są już od bardzo dawna [B o c h e n e k, R e i c h e r 1968:179]. Według niektórych autorów nadmierne obciążenie ściskowe płytki wzrostowej prowadzi początkowo do silnego przekrwienia i szybszego wzrostu chrząstki, lecz w krótkim czasie dochodzi do wystąpienia zmian w budowie i czynności chrząstki, do uszkodzenia ukrwienia nasadowego i, po około trzytygodniowym nadmiernym nacisku, zaczynają powstawać mostki kostne, które zapoczątkowują zrost nasady z przynasadą. Siły ściskające o wartości powyżej 24 kG/cm² powodują całkowite zahamowanie wzrostu chrząstki nasadowej [S a l a m o n 1975]. Zbyt duże obciążenia ściskowe mogą prowadzić również do powstania nekrozy kości [E v a n s 1957].

Za funkcjonalną koncepcją regulacji wzrostu kości przemawiają wyniki doświadczeń z częściową i całkowitą utratą funkcji mięśniowych przez kończynę. Przy częściowym usunięciu niektórych grup mięśniowych i obniżeniu w ten sposób obciążenia ściskowego nie uzyskano zahamowania wzrostu na długość. Jednak całkowita utrata funkcji przez kończynę prowadziła zawsze do zahamowania wzrastania i spadku aktywności wzrostowej [H e ř t 1964]. Także zmniejszenie wzrastania długości kości obserwowano przy częściowym lub całkowitym unieruchomieniu kończyny. Wiąże się to prawdopodobnie z niedostarczeniem kości normalnej ilości bodźców ściskowych i rozciągania, niezbędnych do prawidłowego jej wzrostu. Po uszkodzeniu mięśni i usztywnieniu kończyny stwierdzono także znaczną atrofię kości [B r a n d e s 1914].

Badania związku siły ściskowej przypadającej na kość i jej wzrostu na długość napotykają jednak na liczne trudności. Przede wszystkim wiąże się to częstokroć z bezkrytycznym przenoszeniem na człowieka wyników badań prowadzonych na zwierzętach, chociaż już rezultaty uzyskane na różnych gatunkach zwierzęcych są często całkiem nieporównywalne. Evans twierdzi na przykład, że wpływ kompresji na wzrastanie kości jest różny u różnych gatunków (s. 146). Podobnie jak wpływ ściskania na wzrastanie kości długich jest jednym z mechanizmów pozwalających kości regulować swoje wymiary, tak i zmniejszone napięcie — rozciąganie kości w okolicy płytki wzrostowej posiada istotne znaczenie dla rozwoju kości w wymiarze długościowym. Wydaje się jednak, że stresory ściskowe są ważniejszym czynnikiem przy stymulowaniu wzrostu kości aniżeli stresory rozciągania [E v a n s 1957]. Jakkolwiek przyjmuje się, że rozciąganie chrząstki nasadowej powoduje przyspieszenie jej wzrostu, to jednak długotrwałe i silne rozciąganie prowadzi, podobnie jak przyłożenie sił ściskowych, do zahamowania wzrastania [S a l a m o n 1975].

Innym czynnikiem, posiadającym ścisły związek z obciążeniami me-

chanicznymi i regulującym tempo wzrastania kości przez płytkę wzrostową, jest zespół właściwości strukturalnych okostnej. Okostna, która obejmuje strefę intensywnego wzrostu kości i przyczepia się powyżej chrząstki nasadowej, posiada odmienny niż kość charakter rozwojowy. Pomimo swej znacznej elastyczności zewnętrzna warstwa włóknista nie dopuszcza do nadmiernego wzrostu płytki wzrostowej. Tempo rozwoju okostnej jest znacznie wolniejsze od tempa rozwoju kości. W przypadku zbyt szybkiego rozwoju kości zaczyna ona wywierać presję ściskową na chrząstkę, przez co zmniejsza się aktywność wzrostowa płytki. Po pewnym czasie, potrzebnym na interstycjalny wzrost okostnej, jej hamująca rola zanika, a przyrost chrząstki wzrostowej trwa tak długo, jak długo powiększanie się na długość kości jest zgodne ze wzrostem długościowym okostnej. Ponieważ okostna obejmuje obie płytki wzrostu — proksymalną i dystalną (których wzrost odbywa się w przeciwnych kierunkach), musiałaby wzrastać szybciej, jeżeli nie ma doprowadzić do zahamowania wzrostu kości. W wyniku nierównomiernego tempa rozwoju obu płytek wzrostowych płytka o wyższym tempie wzrastania powoduje powstanie większych sił ściskowych nasadowo-przynasadowych. Przecięcie włókna okostnowego i zniesienie w ten sposób napięcia powoduje znaczne pobudzenie wzrostu kości [M o s s 1972].

Wymieniona trzecia hipoteza, wiąże się z wpływem zaburzeń ukrwienia na wzrost kości. W wyniku licznych doświadczeń stwierdzono, że największe znaczenie można przypisać patologicznemu przekrwieniu żylnemu, znanemu w piśmiennictwie pod pojęciem zastoju żylnego. Istotą zastoju żylnego, którego przyczyny powstania mogą być bardzo różne, jest zmiana warunków ukrwienia okolicy przynasadowej i nasadowej, łącznie z chrząstką wzrostową. Konsekwencją tych zaburzeń, jak pisze M o s s [1972], jest „... powiększenie się przynasadowych zatok żylnych, podniesienie się stężenia protein w plazmie, zwiększenie ciśnienia parcjalnego tlenu, podwyższenie pH...”. Chrząstka wzrostowa otrzymująca takie bodźce posiada dogodne warunki do rozwoju, w wyniku czego obserwuje się znaczne przyspieszenie wzrastania kości. Zastój żylny można wywołać także eksperymentalnie. Prawdopodobnie może on powstać także w wyniku nadmiernej aktywności funkcjonalnej. Zostało to wykorzystane w celu przyspieszenia wzrastania kości w warunkach klinicznych. Do zastoju żylnego można doprowadzić na przykład poprzez znaczne podniesienie temperatury okolicy przynasadowej, uszkodzenie jamy szpikowej, przez złamanie kości lub uszkodzenie okostnej. Przyczyną przyspieszonego wzrostu kości jest prawdopodobnie także wytworzenie krążenia obocznego przynasadowo-nasadowego w wyniku częściowej lub całkowitej czasowej niedrożności tętnic odżywczych kanału szpikowego [S a l a m o n 1975].

Przedstawione powyżej koncepcje regulacji zewnętrznej wzrastania kości na długość nie uwzględniają oczywiście wszystkich istniejących obecnie hipotez, jednakże wydaje się, że wymienione poprzednio mechanizmy

regulacji mogą być najbardziej przydatne przy analizie związku pomiędzy funkcją ręki a obrazem morfologicznym kości śródrezcza i palców. Trzeba pamiętać o tym, że wyniki badań, które przedstawiono, dotyczyły przede wszystkim doświadczeń na materiale zwierzęcym i obejmowały typowe kości długie, takie jak kość udowa czy łokciowa. W kościach tych, zwłaszcza u zwierząt, obciążenie dotyczy zawsze typowych oddziaływań odbieranych przez kość podczas wykonywania funkcji podporowej i lokomocyjnej. Ręka ludzka jednak, posiadająca przede wszystkim charakter manipulacyjny, odbiera nieco inne obciążenia, chociaż w przybliżeniu można je sprowadzić do sił rozkładających się wzdłuż osi długiej kości. Wynika to z charakteru każdej kości długiej, która niezależnie od obciążenia dąży do zmniejszenia wpływu tych sił przez rozłożenie ich wzdłuż osi długiej w trzonie kości.

Dotychczas przedstawione wyniki badań dotyczyły związku pomiędzy obciążeniem kości a jej wzrastaniem na długość. W okresie intensywnego rozwoju kości, w wyniku licznych oddziaływań funkcjonalnych, może ona jednak zmienić także swoje wymiary szerokościowe i grubościowe. Po zakończeniu intensywnego wzrastania na długość, czyli po fuzji nasad z trzonem kości, wzrost ten wydaje się być jedynym możliwym wzrostem, pomimo że w literaturze spotyka się nieliczne informacje, że wzrost długościowy może także odbywać się po zakończeniu aktywności wzrostowej płytki nasadowej, przez wzrost chrząstek stawowych. Wydaje się jednak, że rola takiej czynności chrząstek stawowych w kształtowaniu się morfologii nasad i całych kości długich jest niewielka.

Wzrost kości na szerokość zależy od aktywności osteoblastycznej wewnętrznej warstwy okostnej oraz od bodźców mechanicznych odbieranych przez układ kostny. Obecnie należy przyjąć jako pewnik stwierdzenie, że ilość oraz lokalizacja i gęstość istoty zbitej kości zależne są od wielkości obciążeń mechanicznych [P a u w e l s 1968, S c h m i t t 1968]. Powiększanie się grubości i szerokości kości odbywa się przede wszystkim w trzonie kości, w mniejszym zaś stopniu na bocznych powierzchniach obu końców. Zmiany w budowie kości, po zakończeniu przez nią wzrastania na długość, są zabezpieczone przez zespół wewnętrznych właściwości organizmu, takich jak metabolizm, czynność hormonalna, gospodarka mineralna itp., oraz przez oddziaływania zewnętrzne. Proces przebudowy struktury kostnej, nazywany remodelowaniem, towarzyszy także okresowi dynamicznego rozwoju organizmu, zabezpieczając w ten sposób utrzymanie stałych kształtów poszczególnych kości. Zmiany w budowie kości włączają zlokalizowane kombinacje odkładania i resorpcji na powierzchniach zewnętrznych i wewnętrznych, a także są odpowiedzialne za znaczne różnice w strukturze mikroskopowej różnych kości i poszczególnych części tej samej kości [E n l o w 1966].

Najogólniej można powiedzieć, że remodelowanie zabezpieczone jest przez dwa układy ujemnych sprzężeń zwrotnych. Pierwszy, ogólny, doty-

czy parathormonu i kalcytoniny, pośredniczy w resorpcji i służy utrzymaniu prawidłowej homeostazy wapnia. Drugi, o charakterze lokalnym, dotyczy wpływu sił mechanicznych na szkielet [G a l u s 1974, M o s s 1972]. Koncentrując się na drugim typie ujemnego sprzężenia zwrotnego warto zauważyć, że utrata dwóch głównych stresorów wpływających na kość dzięki grawitacji ziemskiej, tj. stresora związanego z siłami kompresyjnymi wywieranymi na układ kostny podczas wykonywania funkcji przenoszenia ciężaru, oraz napięcia mięśniowego o przeciwnym działaniu do siły grawitacyjnej, prowadzi do znacznej demineralizacji i zmian w grubości kości [S t u b b s 1970]. Obserwacje te poczyniono badając układ kostny astronautów, a podobny kierunek zmian stwierdziła także Ł y s o Ń - W o j c i e c h o w s k a [1973] porównując budowę kości i jej gęstość u pilotów i personelu naziemnego. Takie same wyniki w warunkach laboratoryjnych otrzymano badając wpływ unieruchomienia i utraty funkcji mięśni na zmiany w budowie kości. Stwierdzono, że zaburzona zostaje równowaga pomiędzy tworzeniem kości i jej zanikiem, a zmianom tym towarzyszyła także nadczynność naczyniowa [G e i s e r, T r u e t a 1958].

Koncepcja ujemnego sprzężenia zwrotnego pomiędzy siłami mechanicznymi a przemianami w obrębie szkieletu wykorzystuje wyniki badań dotyczące właściwości piezoelektrycznych elementów strukturalnych kości. Własność piezoelektryczna jest to zdolność przemiany energii mechanicznej w elektryczną i odwrotnie, a zdolność taką posiadają kryształy, które nie mają płaszczyzn symetrii i środka symetrii. Stwierdzono także, że zdolność zamiany energii mechanicznej na elektryczną posiadają również niezmineralizowane (tkanka łączna) jak i zmineralizowane (hydroksyapatyty) struktury kości. W wyniku przyłożenia do takiego elementu siły wzdłuż określonej osi, na jego powierzchni pojawią się ładunki elektryczne, ujemne po stronie ściskowej, a dodatnie po stronie, która zostaje rozciągana. Z doświadczeń dotychczas przeprowadzonych wynika, że zjawisko to zachodzi zarówno w żywych, jak i wypreparowanych kościach. Przykładając siły ściskowe do fragmentu kostnego wyciętego w kształcie sześciangu wykazano, że najwyższe potencjały uzyskano, gdy próbki ustawione były pod kątem 45° do osi długiej kości, z której pobierano wycinek [B a s s e t 1968]. Stwierdzono także, że ładunek ujemny stymuluje osteoblasty, a ładunek dodatni zwiększa aktywność osteoklastyczną. Dodatkowo, występowanie tych ładunków na powierzchniach zewnętrznych kości zwiększa kierunkowy przepływ jonów, dostarczając w ten sposób budulca mineralnego niezbędnego do prawidłowej przebudowy tkanki kostnej. Po stronie podlegającej ściskowi gromadzić się będą więc wolne kationy, przede wszystkim wapnia, oczywiście jeżeli występować będą w odpowiedniej ilości w płynach ustrojowych. W przeciwnym wypadku, na skutek zwiększonej czynności komórek kościogubnych, dochodzi do dynamiczniejszego rozpadu kości, co może prowadzić do powstania patologicznego zrzęsotnienia kości (*osteoporosis*), które może mieć charakter ogólny

lub miejscowy, w zależności od przyczyn, które ten stan wywołały [S y c 1969].

Kończąc omawianie aktualnych poglądów dotyczących związku między oddziaływaniami mechanicznymi, przypadającymi na układ kostny, a czynnością osteoblastyczną i osteoklastyczną, warto wspomnieć, że na podstawie tych informacji S t u b b s [1970] opracował, wykorzystując pojęcie sprężenia zwrotnego, uniwersalny model wyjaśniający ilościowy związek pomiędzy zmianą siły ściskowej, a wystąpieniem trzech możliwych zmian architektury kości — tworzenia, resorpcji i utrzymania jej struktury. Model ten może być zastosowany do przewidywania zmian w budowie kości, przy zadanych obciążeniach mechanicznych.

PRÓBA EKSPERYMENTALNEGO USTALENIA ZALEŻNOŚCI POMIĘDZY FUNKCJĄ RĘKI
A MORFOLOGIĄ KOŚCI ŚRÓDRĘCZA I PALCÓW

W badaniach antropologicznych nie można, dla udowodnienia postawionych hipotez, stosować klasycznego postępowania eksperymentalnego, dlatego też najczęściej stosuje się metody pośrednie pomiędzy eksperymentem a obserwacją losową. Istotą takiego postępowania doświadczalnego jest taki dobór badanych, by stanowili oni kilka grup wyróżnionych ze względu na natężenie badanego czynnika. Pozostałe czynniki istotne względem rozpatrywanych zmiennych zostają sztucznie ustabilizowane przez odpowiednią selekcję badanych. Otrzymane różnice pomiędzy tak wyróżnionymi grupami mogą wynikać wówczas tylko z czynnika różnicującego te grupy. Przy takich badaniach ważnym zagadnieniem jest więc zdefiniowanie czynników istotnych i ubocznych dla analizowanego zjawiska.

Celem przedstawianej analizy jest ustalenie związku pomiędzy funkcją kończyny górnej a budową kości śródręcza i palców. Istotnym czynnikiem, który powinien różnicować badane grupy, jest siła, czas oraz rodzaj oddziaływań funkcjonalnych na te kości. Pozostałe czynniki we wszystkich wyróżnionych grupach powinny być jednorodne. W przypadku niniejszego badania do czynników tych zaliczono:

- budowę ciała — charakteryzowaną wysokością i ciężarem ciała,
- pochodzenie terytorialne
- wiek osobników.

Na podstawie takich założeń utworzono dwie grupy: jedną stanowili pracownicy fizyczni, zatrudnieni w przemyśle drzewnym średnio przez okres 12 lat, drugą pracownicy umysłowi, którzy nigdy zawodowo fizycznie nie pracowali. Ponadto, pracownicy fizyczni mieli związek z ciężką pracą fizyczną przed 19 rokiem życia, czyli przed zakończeniem rozwoju ręki. W tak wyróżnionych grupach różnice w wysokości i ciężarze ciała były nieistotne statystycznie, a wariacje obu zmiennych były zgodne. Średni wiek pracowników umysłowych wynosił 34 lata, a pracowników fizycznych 42 lata. Różnicę 8 lat uznano za dopuszczalną, ponieważ za-

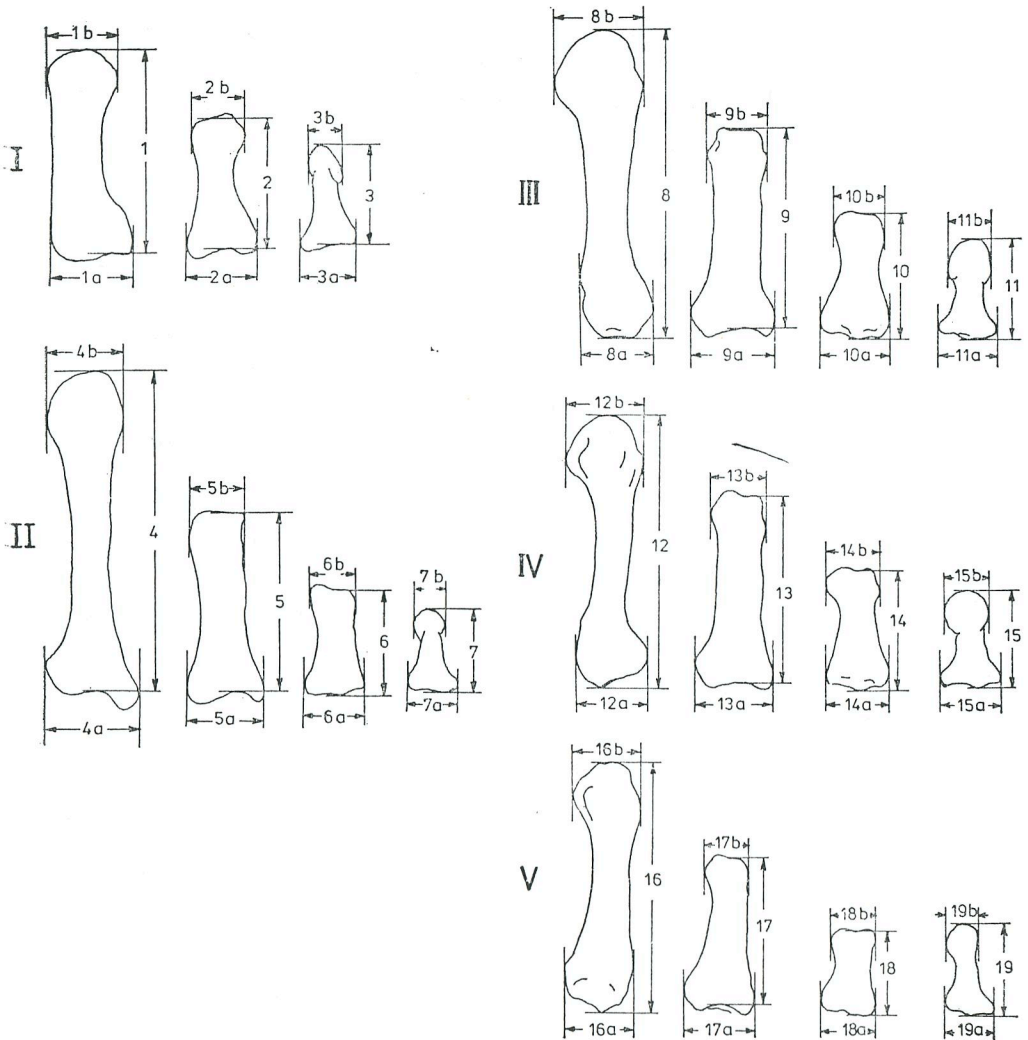
równy tempo zmian inwolucyjnych, jak i zmiany w budowie strukturalnej kości między 30 a 40 rokiem życia są jeszcze niewielkie.

Praca jaką wykonują pracownicy przemysłu drzewnego należy do cięższych prac fizycznych. Głównymi czynnikami obciążającymi układ kostny są napięcia mechaniczne wywołane miejscową wibracją narzędzia pracy, tzw. uderzenia powrotne, a także znaczny ciężar tych narzędzi, powodujący silne i długotrwałe napięcie mięśniowe. Wibracja, jako główny czynnik szkodliwy występujący w tym zawodzie, wywiera liczne ujemne wpływy na układ krwionośny, powoduje zmiany w napięciu ścian dużych naczyń krwionośnych, co prowadzi między innymi np. do znacznego obniżenia temperatury rąk. Skutkiem działania wibracji są także zmiany w zakresie składu ilościowego i jakościowego elementów morfotycznych krwi [J u r c z a k 1974]. Ponadto silne zaangażowanie układu mięśniowego w czasie działania wibracji doprowadza do zmian w czynności bioelektrycznej mięśni [J u r c z a k 1974:77]. Zespół niekorzystnych i nefizjologicznych czynników związanych z pracą w tym zawodzie prowadzi w krótkim czasie do wystąpienia licznych zmian chorobowych w obrębie układu krwionośnego, nerwowego i mięśniowego. Niektórzy autorzy zauważają znaczne zmiany w układzie kostno-stawowym. A n d r e e v a - G a l a n i n a [1956] podaje, że na skutek narażenia na czynniki wibracyjne dochodzi do pojawienia się tworów torbielowatych w kościach śródreza i nadgarstka w wyniku zaburzeń naczyniowych. Innym objawem patologicznym, prawdopodobnie pojawiającym się w wyniku lokalnego działania wibracji, są zmiany kostne w postaci tzw. enostoz — małych zbitych wysepek tkanki kostnej umiejscowionych przeważnie na dystalnych członkach palców oraz osteoporoza będąca efektem demineralizacji wyodrębnionych części kości lub też występująca w obrębie całej kończyny górnej [A n d r e e v a - G a l a n i n a 1956, G r a c i a n s k a j a i w s p. 1963].

W związku z powyższym wydaje się, że pracownicy narażeni na wibrację stanowią dobrą grupę do tego typu badań, tak ze względu na bezpośrednie oddziaływanie na układ kostny czynników mechanicznych, jak i pośrednie, odmienne od prawidłowego, oddziaływanie innych układów.

W obu grupach badanych wykonano zdjęcia rentgenowskie ręki za pomocą aparatu TUR typ „Kostiks” 300 (46 KV), stosując zawsze te same warunki ekspozycji (odległość ogniska lampy do filmu wynosiła 85 cm). Na tak wykonanych zdjęciach dokonano następujących pomiarów, z dokładnością do 0,1 milimetra: długości kości śródreza i palców (nr 1 - 19, wzdłuż osi długiej każdej kości), szerokości końców bliższych — podstawy (nr 1a - 19a, prostopadłe do osi długiej kości w najszerszym miejscu każdego końca), szerokości końców dalszych (nr 1b - 19b, w analogiczny sposób jak poprzednio) (rys. 1).

Do określenia stopnia demineralizacji i resorpcji struktury kostnej posłużono się wskaźnikiem korowym [D e l o r m e i w s p. 1974, S i m o n



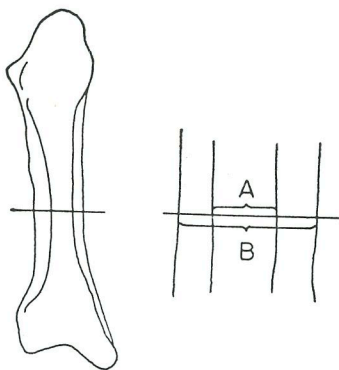
Rys. 1. Pomiary kości śródreżca i palców

I, II, III, IV, V — oznaczenia kolejnych promieni od kciuka, 1, 2, 3, ... , 19 — numer kolejnej kości i wymiar jej długości, a — oznaczenie szerokości końca bliższego — podstawy, b — oznaczenie szerokości końca dalszego kości

i Woodhouse 1973], obliczonym z pomiarów szerokości trzonu i kanału kostnego (rys. 2).

Dla sprawdzenia istotności wpływu obciążeń mechanicznych na budowę morfologiczną kości ręki postawiono następujące hipotezy:

- 1 — H_0 — ręce pracowników fizycznych posiadają krótsze kości niż ręce pracowników umysłowych,
- 2 — H_0 — dynamiczne obciążenie kości ręki wpływa na zwiększenie wymiarów szerokościowych kości,
- 3 — H_0 — zmienności w wymiarze długościowym i w wymiarach szerokościowych są takie same w obu badanych grupach,



Rys. 2. Pomiar grubości trzonu B drugiej kości śródreżca i szerokości kanału kostnego A

4 — H_0 — grubość istoty zbitej jest mniejsza u pracowników fizycznych.

Wyniki przedstawione w tabelach 1 do 5 wydają się zaprzeczać większości postawionych hipotez. Nie stwierdzono różnic w wymiarach długości poszczególnych kości rąk prawych i lewych pracowników fizycznych w porównaniu z umysłowymi. Podobnie nie można zaobserwować różnic między badanymi grupami w szerokościach obu końców kości śródreżca i palców. Także szerokość trzonu kości i szerokość kanału kostnego, a w związku z tym i wskaźnik korowy drugiej kości śródreżca nie wykazują różnic między badanymi grupami. Trzeba przyjąć jednak alternatywną hipotezę trzecią, ponieważ wariancje długości kości są w przypadku pracowników fizycznych istotnie statystycznie wyższe dla większości kości.

Omawiając uzyskane wyniki należy stwierdzić, że przedstawione na początku pracy poglądy, dotyczące głównych zagadnień regulacji zewnętrznej wzrastania i remodelowania kości długich, nie znalazły przekonującego poparcia w przedstawionych badaniach. Z danych piśmiennictwa wynikało bowiem, że silny czynnik ściskowy powinien wywoływać zahamowanie wzrastania kości na długość. W przypadku ręki praca fizyczna prowadzi do zwiększonego napięcia mięśni, co przy jednoczesnych silnych oddziaływaniach mechanicznych powinno właśnie wywołać siły ściskowe skierowane na chrząstki wzrostowe. Niezgodne wariancje pomiędzy grupami, w cechach długości kości, częściowo tłumaczą to zjawisko. Wyższą zmienność można uzyskać albo przez zwiększenie asymetrii rozkładów badanych cech, a więc kierunkowość zmiany u wszystkich badanych, albo przez zwiększenie zakresu zmienności, przy zachowaniu symetryczności rozkładów, czyli przez różnokierunkowe zmiany. W omawianym przypadku zaistniała ta druga możliwość. Wśród pracowników fizycznych byli tacy badani, którzy posiadali znacznie mniejsze i tacy którzy posiadali znacznie większe długości kości niż pracownicy umysłowi. Jest to prawdopodobnie skutek dużego zróżnicowania obciążeń funkcjonalnych, jakim podlegali badani w tej grupie przed zakończeniem rozwoju ręki.

Przy rozpatrywaniu grubości istoty zbitej kości otrzymano negatywny wynik. Pomimo iż pracownicy fizyczni byli starsi o 8 lat od pracowników

Tab. 1. Średnie (\bar{x}), wariancje (s^2) i współczynniki zmienności (CV) długości kości śródręcza i palców u pracowników fizycznych i umysłowych (* $P < 0,05$, ** $P < 0,01$)

Numer pomiaru	Pracownicy fizyczni ręka lewa				Pracownicy fizyczni ręka prawa				$s_2^2 \& s_1^2$ F_0	Pracownicy umysłowi ręka prawa $N=30$			$s_2^2 \& s_3^2$ F_0
	\bar{x}	s_1^2	CV	N	\bar{x}	s_2^2	CV	N		\bar{x}_3	s_3^2	CV	
1	46,89	7,21	5,73	39	46,98	7,88	5,98	39	1,09	46,96	6,26	5,33	1,26
2	30,02	4,58	7,13	39	30,02	5,33	7,69	39	1,16	30,29	3,00	5,71	1,78
3	23,17	3,01	7,49	39	23,28	3,42	7,94	39	1,14	23,02	1,35	5,04	2,53**
4	69,46	15,80	5,72	38	69,60	16,66	5,86	39	1,05	69,49	10,42	4,64	1,60
5	39,78	7,11	6,70	39	39,60	7,37	6,86	39	1,04	39,53	3,60	4,80	2,05*
6	23,24	4,00	8,60	39	22,73	4,14	8,95	39	1,04	23,61	2,42	6,59	1,71
7	17,70	2,40	8,75	39	17,13	2,91	9,96	39	1,21	17,70	0,94	5,48	3,10**
8	66,64	17,56	6,29	39	66,67	17,70	6,31	39	1,01	66,73	11,80	5,15	1,50
9	44,84	7,89	6,26	39	44,83	8,74	6,59	39	1,11	44,52	3,78	4,37	2,31*
10	28,38	4,54	7,51	38	27,90	4,97	7,99	39	1,09	28,78	2,33	5,31	2,13*
11	18,65	2,08	7,73	36	18,19	3,29	9,97	36	1,58	18,90	1,13	5,61	2,91**
12	60,35	16,13	6,65	39	60,42	16,78	6,78	39	1,04	60,77	9,25	5,00	1,81*
13	42,33	7,09	6,29	39	42,42	7,83	6,60	39	1,10	42,20	3,41	4,38	2,30*
14	27,22	5,27	8,43	38	27,13	4,83	8,10	39	1,09	27,95	2,14	5,23	2,26*
15	19,19	2,19	7,71	38	18,82	3,22	9,53	39	1,47	19,70	0,86	4,72	3,74**
16	56,57	12,23	6,18	39	56,35	12,91	6,38	39	1,06	56,60	6,32	4,44	2,04*
17	33,59	4,75	6,49	39	33,55	4,96	6,64	39	1,04	33,30	2,33	4,59	2,13*
18	19,56	3,42	9,45	38	19,32	3,62	9,85	38	1,06	20,15	2,89	8,43	1,25
19	17,58	1,98	8,00	37	17,01	3,59	11,14	35	1,81*	17,70	0,95	5,51	3,78*

Tab. 2. Średnie (\bar{x}), wariacje (s^2) i współczynniki zmienności (CV) szerokości końców bliższych kości śródreżca i palców u pracowników fizycznych i umysłowych (* $P < 0,05$, ** $P < 0,01$)

Numer pomiaru	Pracownicy fizyczni ręka lewa				Pracownicy fizyczni ręka prawa				$s_2^2 \& s_1^2$ F_0	Pracownicy umysłowi ręka prawa $N=30$			$s_2^2 \& s_3^2$ F_0
	\bar{x}	s_1^2	CV	N	\bar{x}	s_2^2	CV	N		\bar{x}	s_3^2	CV	
1a	17,67	0,61	4,42	39	17,64	0,86	5,26	39	1,41	17,26	1,57	7,26	1,83*
2a	16,51	1,19	6,61	39	16,34	0,88	5,74	39	1,35	16,39	0,49	4,27	1,79
3a	12,99	1,09	8,04	39	12,93	1,07	8,00	39	1,02	13,23	0,85	6,97	1,26
4a	19,97	1,69	6,51	38	20,26	1,58	6,20	39	1,07	20,11	1,33	5,73	1,19
5a	18,25	1,08	5,69	39	18,35	1,12	5,77	39	1,04	18,03	0,75	4,80	1,49
6a	14,35	0,66	5,66	39	14,35	0,70	5,83	39	1,06	13,95	0,63	5,69	1,11
7a	11,18	0,43	5,87	39	11,17	0,61	6,99	39	1,42	10,86	0,49	6,45	1,24
8a	15,87	0,96	6,17	39	16,10	0,90	5,89	37	1,07	16,20	0,97	6,08	1,08
9a	18,13	0,90	5,23	39	18,43	1,01	5,45	39	1,12	17,79	0,76	4,90	1,33
10a	15,41	0,72	5,51	39	15,46	0,82	5,86	39	1,14	14,92	0,66	5,45	1,24
11a	12,18	0,56	6,14	38	12,04	0,59	6,38	39	1,05	11,71	0,47	5,85	1,25
12a	15,39	1,21	7,15	37	15,44	1,72	8,49	36	1,42	15,56	1,85	8,74	1,07
13a	16,99	1,11	6,20	39	17,32	1,01	5,80	39	1,10	16,78	0,71	5,02	1,42
14a	14,25	0,77	6,16	39	14,24	0,82	6,36	39	1,06	13,97	0,69	5,95	1,19
15a	11,91	0,53	6,11	39	11,83	0,69	7,01	39	1,30	11,66	0,47	5,88	1,47
16a	15,19	1,57	8,25	39	15,35	1,47	7,90	39	1,07	15,21	0,89	6,20	1,65
17a	15,73	0,76	5,54	38	15,87	0,79	5,60	39	1,04	15,60	0,64	5,13	1,23
18a	12,00	0,55	6,18	36	11,84	0,83	7,69	37	1,51	11,74	0,43	5,59	1,93*
19a	10,14	0,47	6,76	36	9,94	0,64	8,05	35	1,36	9,96	0,43	6,58	1,49

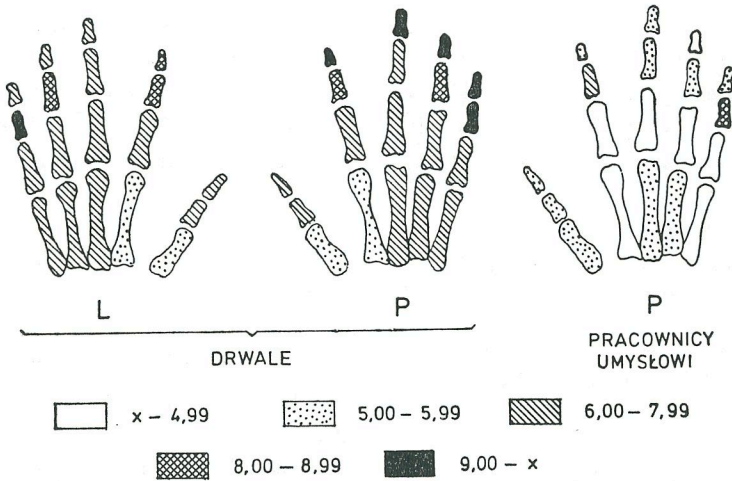
Tab. 3. Średnie (\bar{x}), wariancje (s^2) i współczynniki zmienności (CV) szerokości końców dalszych kości śródreca i palców u pracowników fizycznych i umysłowych (* $P < 0,05$)

Numer pomiaru	Pracownicy fizyczni ręka lewa				Pracownicy fizyczni ręka prawa				$s_2^2 \& s_1^2$ F_0	Pracownicy umysłowi ręka prawa $N=30$			$s_2^2 \& s_3^2$ F_0
	\bar{x}	s_1^2	CV	N	\bar{x}	s_2^2	CV	N		\bar{x}	s_3^2	CV	
1b	17,37	1,92	7,98	38	17,42	1,83	7,76	39	1,05	17,61	0,88	5,33	2,08*
2b	12,88	0,72	6,59	39	12,85	0,68	6,42	39	1,06	12,91	0,58	5,90	1,17
3b	7,75	1,21	14,19	39	7,71	1,56	16,20	37	1,29	8,03	0,96	12,20	1,63
4b	18,19	1,79	7,35	38	18,54	2,07	7,76	39	1,16	17,92	1,99	7,87	1,04
5b	12,79	1,12	8,27	39	12,77	0,53	5,70	39	2,11*	12,71	0,33	4,52	1,61
6b	10,52	0,32	5,38	39	10,65	0,31	5,23	39	1,03	10,47	0,19	4,16	1,63
7b	7,92	0,94	12,24	39	7,93	0,83	11,49	39	1,13	7,58	0,49	9,23	1,69
8b	18,84	1,69	6,90	39	19,21	1,82	7,02	39	1,08	18,74	1,74	7,04	1,05
9b	13,49	0,75	6,42	39	13,67	0,63	5,81	39	1,19	13,51	0,53	5,39	1,19
10b	11,61	0,45	5,78	38	11,80	0,46	5,75	39	1,02	11,43	0,24	4,29	1,92*
11b	9,09	1,05	11,27	37	8,97	0,77	9,78	38	1,36	8,40	0,61	9,30	1,26
12b	16,07	1,33	7,18	39	16,37	1,38	7,18	39	1,04	15,92	1,07	6,50	1,29
13b	12,58	0,61	6,21	39	12,80	0,53	5,69	39	1,15	12,72	0,61	6,14	1,15
14b	11,16	0,41	5,74	39	11,35	0,38	5,43	39	1,08	11,04	0,33	5,20	1,15
15b	9,02	1,14	11,84	39	8,80	1,31	13,01	39	1,15	8,48	0,73	10,07	1,79
16b	15,25	0,96	6,42	38	15,42	1,22	7,16	39	1,27	15,31	0,70	5,46	1,74
17b	10,81	0,42	6,00	38	10,87	0,43	6,03	38	1,02	10,90	0,35	5,43	1,23
18b	9,77	0,38	6,31	37	9,76	0,38	6,31	35	1,00	9,64	0,25	5,19	1,52
19b	6,72	0,59	11,43	36	6,41	0,49	10,92	35	1,20	6,32	0,35	9,36	1,40

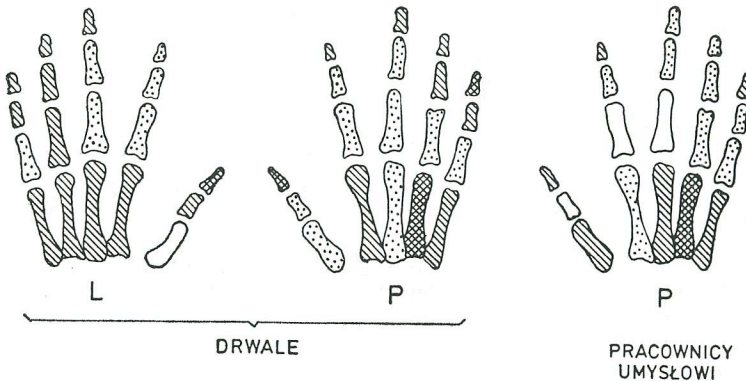
Tab. 4. Charakterystyka metryczna grubości trzonu i szerokości kanału kostnego drugiej kości śródreczą

	Grubość trzonu (B)			Szerokość kanału (A)		
	\bar{x}	s^2	CV	\bar{x}	s^2	CV
Pracownicy fizyczni	9,23	0,61	8,46	3,85	0,59	19,95
Pracownicy umysłowi	9,21	0,47	7,44	3,89	0,66	20,88

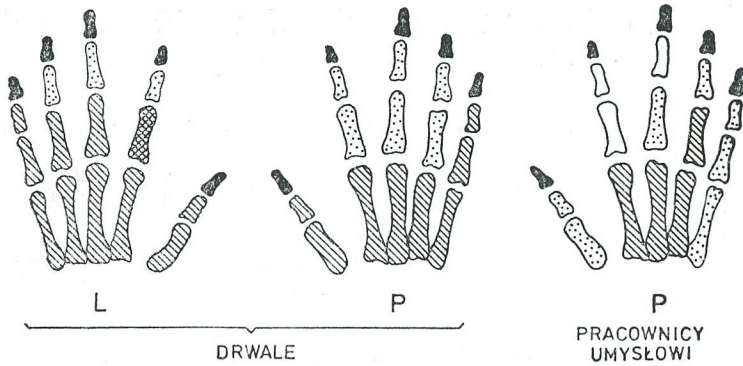
umysłowych i jednocześnie podlegali przez długi czas wszystkim wymienionym poprzednio silnym obciążeniom wynikającym z funkcji kończyny górnej, nie stwierdzono u nich najmniejszych zmian w budowie warstwy korowej kości. Metoda, którą posłużono się w badaniach, jest jedną z wielu metod, które wykorzystuje się do tego celu. Jest jednak jedyną, dla której spotyka się w piśmiennictwie zakresy dla prawidłowej, fizjologicz-



Rys. 3. Zmienność względna CV długości badanych kości



Rys. 4. Zmienność względna CV szerokości końców bliższych kości śródreczą i palców. Oznaczenia zakresów zmienności analogicznie jak na rys. 3



Rys. 5. Zmienność względna CV szerokości końców dalszych kości śródreża i palców. Oznaczenia zakresów zmienności analogicznie jak na rys. 3

nej wielkości wskaźnika korowego. Inne metody albo opierają się na bardzo subiektywnych przesłankach, jak np. wizualna ocena gęstości kości, albo nie podają zakresu normy fizjologicznej. Według Delorme'a i wsp. [1974] prawidłowy wskaźnik powinien mieścić się w granicach 0,43 - 0,64, a wg Simona i Woodhouse'a [1973] norma dla badanych w wieku 40 - 50 lat wynosi 0,55 do 0,58. Uzyskane wyniki (tab. 5) mieszczą się w obu tych przedziałach.

Z przeprowadzonych badań nad związkiem pomiędzy funkcją ręki a morfologią kości śródreża i palców należy wysunąć przypuszczenie, że obserwowane przez wielu antropologów różnice w budowie morfologicznej ręki, ocenione na podstawie pomiarów długości poszczególnych cech oraz szerokości, są prawdopodobnie wynikiem zmian w częściach miękkich i połączeniach stawowych, wynikiem wpływu innych, niekontrolowanych zmiennych lub efektem selekcji do wydzielanych grup.

Tab. 5. Charakterystyka wskaźnika korowego drugiej kości śródreża

	$C_i = (B - A) : B$		
	\bar{x}	s^2	CV
Pracownicy fizyczni	0,5841	0,0039	10,69
Pracownicy umysłowi	0,5803	0,0047	11,81

PIŚMIENNICTWO

- Andreeva-Galanina E. C., 1956 „Vibracija i ee značenje w gigene truda, Medgiz, Leningrad.
- Basset C. A. L., 1968, *Biologic significance of piezoelectricity*, Calc. Tiss. Research, 1, 252.
- Bochenek A., Reicher M., 1968, *Anatomia człowieka*, 1, Warszawa.
- Brandes M., 1914, *Experimentelle Untersuchungen über den zeitlichen Eintritt der durch Inaktivität bedingten Knochenatrophie*, Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen, 21, 551.
- Delorme G., F. Diard, L. Lastennet, 1974, *Approche radiologique des déminéralisations du squelette*, Bordeaux Médical, 11, 1727.
- Enlow D. H., 1966, *An evaluation of the use bone histology in forensic medicine*

- and anthropology*, [w:] *Studies on the anatomy and function of bone and joints*, (ed. Evans F. G.), Springer-Verlag, Berlin, 93.
- Evans F. G., 1957, *Stress and strain in bones. Their relation to fractures and osteogenesis*, Ch. C. Thomas Publisher, Springfield.
- Galus K., 1974, *Regulacja procesów przebudowy tkanki kostnej*, Pol. Arch. Med. Wewn., 51, 77.
- Geiser M., Trueta J., 1958, *Muscle action, bone rarefaction and bone formation: an experimental study*, J. Bone Jt. Surg, 40, 282.
- Gracianskaja E. N., A. W. Grinberg, M. A. Elkin, 1963, *Professionalnye za-bolevanija ruk ot perenaprjaženija*, Medgiz, Leningrad.
- Heřt J., 1964, *Regulace růstu dlouhých kosti do délky*, Plzeňský Lék. Sborník, Supplementum, 12.
- Jurczak M., 1974, *Wibracje*, Warszawa.
- Łyson-Wojciechowska G., 1973, *Zróźnicowanie procesu osteoporozy fizjologicznej na podstawie radiogramów drugiej kości śródreza u kandydatów do Wyższej Oficerskiej Szkoły Lotniczej, personelu latającego i personelu naziemnego*, maszynopis rozprawy doktorskiej.
- Moss M. L., 1972, *The regulation of skeletal growth*, Regulation of organ and tissue growth, Acad. Press, New York 127.
- Pauwels F., 1968, *Beitrag zur funktionellen Anpassung der Corticalis der Röhrenknochen. Untersuchung an drei rachitisch deformierten Femora*, Z. Anat. Entwickl.-Gesch., 127, 121.
- Salamon Z., 1975, *Wpływ roztworów obliterujących na wzrost podłużny i poprzeczny kości długich*, AM Warszawa.
- Schmitt H. P., 1968, *Über die Beziehungen zwischen Dichte und Festigkeit des Knochens am Beispiel des menschlichen Femur*, Z. Anat. Entwickl.-Gesch., 127, 1.
- Simon G., N. J. Y. Woodhouse, 1973, *Widespread and regional reduction in bone density*, [w:] *Principles of bone X-ray diagnosis* (red. G. Simon), wyd. 3, Butterworths, 88.
- Stubbs D., 1970, *Skeletal function and weightlessness: a mechanism for hypogravic skeletal atrophy*, Aerospace Medicine, 41, 10, 1126.
- Syc S., 1969, *Osteoporoza uogólniona*, Prace Wrocławskiego Tow. Nauk., Wrocław.

Zakład Antropologii UAM
ul. Fredry 10, 61-701 Poznań

RELATIONSHIP BETWEEN HAND FUNCTION AND BONE MORPHOLOGY OF PHALANGES AND METACARPALS

by PIOTR K. T. LEWICKI and KAZIMIERZ KOWALSKI

In the first part of the paper, the authors present contemporary views which testify to the external regulation of growth in length of bones, as well as to the influence that mechanical stress can have on bone growth in width, and on structure of cortex.

In the second empirical part, quantitative data were presented on the lengths, and widths of distal and proximal epiphyses of phalanges and metacarpals (fig. 1). Material comprises 30 mental workers and 39 physical workers (with average vocational practice of 12 years). No differences were found between the two groups in lengths and widths of the studied bones. In the group of physical workers, however, significantly higher variances were observed in lengths of the measured bones

(tab. 1), while width variances were consistent over the two groups (tab. 2, 3). The differences were accounted for by the variable impact of mechanical stress during intensive growth of bones in length in the group of physical workers. These differences could not be ascribed to different body statures, weights nor age, as these variables were controlled when selecting subjects to the groups. In order to estimate the effect that vibration and mechanical stress can have on changes in thickness of cortex, measurements of widths were taken from diaphyses of second metacarpals, and from the bone channels (fig. 2). No differences in any of the two dimensions were found nor, respectively, in the cortical index which in both groups amounted to 58% (tab. 4, 5).