

Piotr PACZYŃSKI

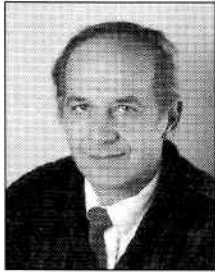
POLITECHNIKA POZNAŃSKA

ZAKŁAD METROLOGII I SYSTEMÓW POMIAROWYCH

Metoda pomiaru parametrów ruchowo siłowych palczków palca

Dr inż. Piotr PACZYŃSKI

Absolwent Wydziału Budowy Maszyn Politechniki Poznańskiej (1972r.), tytuł doktora nauk technicznych uzyskał na podstawie rozprawy pt. "Metoda badania zdolności ruchowych palców ręki" w 1980r. na tym samym Wydziale. Od chwili ukończenia studiów nieprzerwanie pracuje w Zakładzie Metrologii i Systemów Pomiarowych Instytutu Technologii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej. W latach 1972-1976 czynnie uczestniczył w programie polsko amerykańskim nr.10.4.3.04.2 dotyczącym "Badania nad niektórymi czynnikami reologicznymi w restytucji czynności ścięgien i stawów". Wdrożył aparaturę pomiarową przeznaczoną do oceny czynności ruchowo - siłowych palców ręki w Klinice Chirurgii Ręki Instytutu Rehabilitacji i Ortopedii Akademii Medycznej w Poznaniu, oraz w Centrum Zdrowia Dziecka w Konstancinie k. Warszawy.



Streszczenie

W referacie przedstawiono nowatorską metodę kompleksowej oceny funkcjonowania palców ręki. Ocenę powyższą można dokonać zarówno w warunkach statycznych jak i dynamicznych. Przeprowadzono analizę ruchu palczków palca w płaszczyźnie strzałkowej oraz całego palca w przestrzeni, na podstawie której opracowano równania określające jego parametry podczas wykonywania dowolnego ruchu. Przedstawiono propozycję wprowadzenia nowego parametru energetyczno wydolnościowego pozwalającego na jednoznaczną i wymierną ocenę wydatkowanej energii palca w całym zakresie jego przemieszczania. Parametr ten roboczo nazwano wydolnością palca o oznaczeniu Wp. Zaprezentowano koncepcję przyrządu pomiarowego, który pozwala jednocześnie określać własności energetyczno wydolnościowe poszczególnych palczków jak i całego palca tak w układzie płaskim jak i przestrzennym. Przedstawiona metoda znajduje zastosowanie w analizie palca zdrowego oraz w ocenie postępów prowadzonej rehabilitacji po odniesionych urazach.

Słowa kluczowe: Pomiaru parametrów ruchu, aparatura biomedyczna

Abstract

In the paper a new method of complex assessment of fingers functioning was presented. This assessment can be made in both static and dynamic conditions. The analysis of finger phalynxes movement on the plane and in space was performed and considered to be the basis for elaboration of equations determining its parametrs during any movement. A proposal regarding introduction of new energetic ability paramet enabling for a proper estimation of energy expenditure in the whole range of movement was presented. The's paramet was named finger ability and denoted by Wp. A concept of a measuring istrument to determine simultaneously energetic ability properties of phalynxes as well as the whole finger in 2D and 3D was shocon. The presented method finds its application in analysis of a healthy finger and propress in its recovering affer trauma.

Wprowadzenie

Ręka ludzka jest uniwersalnym biomechanizmem, o skomplikowanej budowie, mechanice działania i systemie sterowania, przystosowanym do wykonywania różnorodnych czynności. Ogólna budowa kości (członów) i stawów (par kinematycznych), a także budowa i topografia mięśni (napędów) mają charakter stały (wrodzony) u wszystkich ludzi [1]. Za pomocą stałej struktury tego biomechanizmu wykonujemy różne czynności,

których realizacja zależy głównie od stopnia opanowania procesu sterowania (koordynacji) właściwości ruchowych. Budowa i funkcja ręki zostały już dość gruntownie opisane przez nauki morfologiczne, natomiast studia procesu sterowania układem ruchu są obecnie intensywnie rozwijane przez specjalistów wielu różnych dziedzin nauki [2].

Wyjaśnienie mechanizmów sterowania ruchami wymaga badań z zakresu fizjologii, mechaniki i biomechaniki oraz rozpatrywania ich w aspekcie biocybernetycznym [3] [4].

Analiza procesu sterowania ruchami wymaga ponadto bardziej formalnego, dającego się ująć w liczbach i wielkościach fizycznych zapisu struktury i funkcji ręki ludzkiej. Ogólne pomiary ręki, tak dla celów badawczych jak i użytkowych prowadzono już we wczesnym średniowieczu. Funkcje jej elementów anatomicznych nie zostały dotąd określone w sposób zadowalający, zaś budowa ręki jest zagadnieniem tak bardzo złożonym, iż tylko niewielu specjalistów potrafi zachować w pamięci choćby "ułamkowy" obraz jej swoistego mechanizmu działania. Ponieważ w około 60% czynności całej ręki uczestniczą palce [2], autor podjął się kompleksowego wyjaśnienia możliwości ruchowo siłowych palcy, mających większościowy wpływ na funkcjonalność całej ręki.

POSTAWIENIE PROBLEMU

Coraz większym problemem ludzkości staje się inwalidztwo narządów ruchu w szczególności zaś kończyn górnych. O wadze problemu jakim jest inwalidztwo narządów ruchu świadczą liczne sympozja i konferencje, których dorobek stanowią poważne prace naukowe zarówno z zakresu medycyny jak i mechaniki oraz biocybernetyki. W pracach tych omawiane są między innymi badania zdolności ręki w zakresie:

- pomiarów siły mięśni powstających podczas ruchów
- granicznych możliwości ruchowych palców ręki
- określania automatyzmu, czyli jednoczesnego i płynnego wykonywania ruchu wszystkimi palcami podczas ruchu chwytania

W związku z tym nasuwa się pytanie, czy można jednoznacznie określać zdolności ruchowo siłowe poszczególnych palców ręki w warunkach statycznych i dynamicznych w całym możliwym zakresie ich przemieszczania.

Jaki miarodajny i jednoznaczny wskaźnik zastosować dla palca zdrowego, który pozwoli wymiernie ocenić dysfunkcję palca w czasie prowadzonej rehabilitacji po przebytych chorobach względnie po wykonanych zabiegach chirurgicznych.

Aktualnie można, wymiernie ocenić stopień dysfunkcji całego palca, to znaczy ocenić możliwości ruchowo siłowe opuszki palca [5] [6], nie mając natomiast żadnych informacji dotyczących funkcjonalności poszczególnych palczków palca, które bezpośrednio wpływają na zachowanie się całego palca.

Prowadzona na bieżąco analiza literaturowa, bezpośredni udział autora w odbywających się Sympozjach czy Konferen-

cyjach Naukowych, jak i bieżące dyskusje z lekarzami ortopedami i rehabilitantami wykazują jednoznacznie, iż istnieje bardzo duża luka w prawidłowej i jednoznacznej ocenie postępów prowadzonej rehabilitacji. Zmobilizowało to autora do podjęcia szeroko zakrojonych badań, dotyczących wyznaczenia parametrów dynamiczno energetycznych poszczególnych paliczków palca w stosunku do możliwości ruchowo siłowych opuszki. Należy stwierdzić, że każde urządzenie mechaniczne, optyczne czy elektryczne, można zdefiniować pojęciem przenoszonej, względnie wydatkowanej energii, tak i w przypadku palca traktowanego przecież, jako swoisty biomechanizm, składający się z par kinematycznych, powinna tak samo istnieć możliwość jednoznacznego określenia przenoszonej, względnie wydatkowanej energii każdego paliczka.

Wyobrażając sobie sytuację, w której palec ma przesunąć po płaszczyźnie bardzo "lekki" element w całym możliwym zakresie swoich zdolności ruchowych i to jeszcze w jak najkrótszym czasie. Czyniąc pewne uproszczenia, możemy założyć, iż w tym przypadku palec wykonuje ruch swobodny, uzależniony tylko od wrodzonych swoich cech motorycznych. Czas wykonania ruchu po optymalnej drodze będzie zatem bardzo krótki. Powtarzając powyższe doświadczenie, przy założeniu, że ten sam palec ma przesunąć po tej samej płaszczyźnie bardzo "ciężki" element, (graniczący wprost z jego możliwościami siłowymi) uzyskany czas wykonania tego ruchu na pewno ulegnie wydłużeniu, a tor ruchu i jego zakres pozostaje nieznany. Innymi słowami mówiąc, że im palec ma przesunąć większe obciążenie, tym więcej będzie potrzebował czasu na wykonanie zadanej czynności.

Na podstawie przedstawionych przykładów, autor podjął się próby oceny zależności udziału poszczególnych paliczków palca w czasie tworzenia ruchu przy pokonywaniu różnych obciążeń przez opuszkę. Dodatkowo nadrzędnym celem prac badawczych, jest poszukiwanie wielkości energetycznej, która to umożliwi lekarzowi ortopedzie, względnie rehabilitantowi jednoznacznie określić zdolność ruchowo siłową całego palca oraz jego paliczków, na podstawie jednego dowolnego ruchu, bez względu na wielkość przesuwanego "elementu".

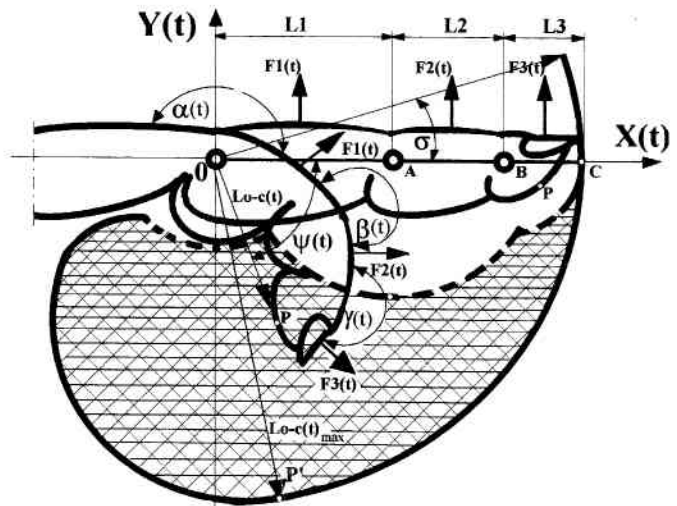
ROZWIĄZANIE PROBLEMU

Punktem wyjściowym do rozwiązania postawionego problemu jest analiza całkowitego zakresu ruchu opuszek palcy oraz ich paliczków w przestrzeni, a także minimalny czas trwania ich ruchu swobodnego.

Ponieważ kolejność i zakres ruchu każdego z paliczków palca jest całkowicie dowolny w czasie, dlatego należy przeanalizować wszystkie możliwe warianty ruchu paliczków, celem określenia obszaru powierzchni zakreślonej przez palec w płaszczyźnie strzałkowej jako podstawowej. W tym miejscu przyjęto uproszczenie, analizując na wstępie tylko ruch na płaszczyźnie, ponieważ analiza przestrzenna dotyczy tylko, dodatkowego ruchu całego palca w niewielkim zakresie kątowym, którego środek znajduje się w punkcie 0.

Na rysunku 1 przedstawiono położenie palca w fazie wyprostu, oraz w przykładowo wybranym zgięciu, zaznaczając kąty $a(t), b(t), g(t)$ między poszczególnymi paliczkami, kąt d odchylenia palca od pozycji wyprostu oraz kąt wypadkowy $y(t)$ zawarty między osią odciętych $X(t)$ a długością zastępczą $L_{o-c}(t)$, określającą w uproszczeniu odległość opuszki palca od początku

układu współrzędnych. Zaznaczono dodatkowo długości paliczków L_1, L_2, L_3 oraz maksymalną odległość opuszki palca $L_{o-c}(t)_{max}$ (punkt P') od początku układu współrzędnych. Z uwagi na to, że palec ma trzy stawy, możliwych jest osiem pozycji,



ZAŁOŻENIA WSTĘPNE PALCA II

- $L_1=51 \text{ mm: } \alpha(t)=0-1.4 \text{ [rad]}; \sim(0-80 \text{ deg})$
 $L_2=32 \text{ mm: } \beta(t)=0-2.0 \text{ [rad]}; \sim(0-115 \text{ deg})$
 $L_3=23 \text{ mm: } \gamma(t)=0-1.4 \text{ [rad]}; \sim(0-80 \text{ deg})$

- $F_1(L_1)=0-150 \text{ [N]}; \sim(0-15 \text{ kG}); F_2(L_2)=0-100 \text{ [N]}; \sim(0-10 \text{ kG});$
 $F_3(L_3)=0-80 \text{ [N]}; \sim(0-8 \text{ kG}); \delta(t)=0-0.35 \text{ [rad]}; \sim(0-20 \text{ deg})$

Rys. 1. Powierzchnia użytkowa osiągnięta przez palec w płaszczyźnie strzałkowej

które są kombinacjami końcowych pozycji kątowych w trzech stawach. Chodzi tutaj o ruch płaski palca przy założeniu, że paliczki mogą wykonywać ruchy elementów niezależnych. Przyjmując anatomiczne możliwe zakresy kątów zginania poszczególnych paliczków palca [5], określono powierzchnię użytkową osiąganą przez palec w płaszczyźnie strzałkowej. Linia ciągłą zaznaczono maksymalny zakres ruchu, natomiast przerywaną, minimalny tor możliwy do uzyskania przez opuszkę palca.

Na podstawie analizy możliwości ruchowych paliczków palca opracowano równania ruchu w układzie współrzędnych prostokątnych, które dla opuszki paliczka (punkty P i P'); można zapisać następująco:

$$\begin{aligned} X(t) &= L_1 \cos \alpha(t) - L_2 \cos[\alpha(t) + \beta(t)] + L_3 \cos[\alpha(t) + \beta(t) + \gamma(t)] \\ Y(t) &= L_1 \sin \alpha(t) - L_2 \sin[\alpha(t) + \beta(t)] + L_3 \sin[\alpha(t) + \beta(t) + \gamma(t)] \end{aligned} \quad (1)$$

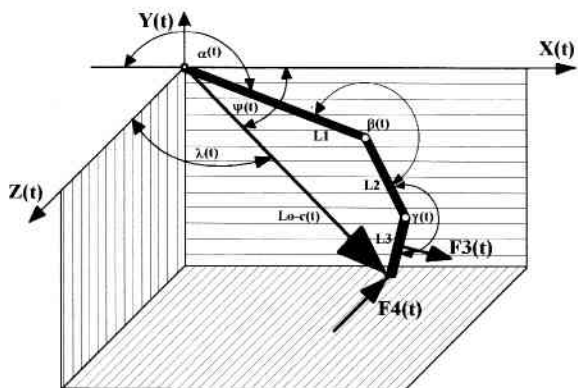
a zmianę długości palca $L_{o-c}(t)$ (punkt P) w trakcie wykonywanego ruchu w płaszczyźnie XY określa równanie

$$L_{o-c}(t) = \sqrt{L_1^2 + L_2^2 + L_3^2 - 2L_1L_2 \cos \beta(t) + 2L_1L_3 \cos[\beta(t) + \gamma(t)] - 2L_2L_3 \cos \gamma(t)} \quad (2)$$

Rozpatrując następnie ruch palca w przestrzeni, którego schematyczny model pokazano na rysunku 2, można dokonać rozszerzenia równań (1) o współrzędną Z, którą przedstawia zależność

$$Z(t) = L_{o-c}(t) \cos \lambda(t) \quad (3)$$

Dodatkowy ruch wynikający z analizy przestrzennej palca, posiada jeden dodatkowy punkt obrotu znajdujący się w początku układu współrzędnych $XYZ = 0$. Dlatego też długość wypadkowa palca $L_{o-c}(t)$ w przestrzeni, zachowuje takie same zależności jak dla układu płaskiego przy ewentualnej zmianie kątowej w płaszczyźnie Z o kąt $l(t)$.



Rys. 2. Uproszczony model palca w przestrzeni

Na podstawie tej analizy proponuje się, celem określenia energetycznej wydolności poszczególnych paliczków jak i całego palca, jednocześnie dokonywanie pomiarów następujących parametrów w czasie dowolnego ruchu palca [7].

1. Kątów $a(t), b(t), g(t), l(t)$ zginania względnie prostowania paliczków palca
2. Sił rozwijanych przez paliczki palca w trakcie wykonywanego ruchu, poprzez zadanie odpowiednich obciążeń wymuszających $F_1(t), F_2(t), F_3(t), F_4(t)$ w całym obszarze ruchu badanego palca (rys.1 i rys.2)
3. Zmian długości zastępczej opuszki palca $L_{o-c}(t)$ uwidocznionej na rysunkach 1i 2.
4. Czasu trwania ruchu poszczególnych paliczków

Uzyskane w ten sposób wielkości charakteryzujące zachowanie się paliczków palca w trakcie badania, umożliwiają jednocześnie określenie następujących parametrów jego ruchu; oddzielnie dla każdego paliczka i całościowo dla całego palca.

1. **Prędkość kątową** zdefiniowaną jako:

- dla paliczka bliższego (L1) $\omega_\alpha(t) = \frac{d\alpha(t)}{dt}$
- dla paliczka środkowego (L2) $\omega_\beta(t) = \frac{d\beta(t)}{dt}$
- dla paliczka dalszego (L3) $\omega_\gamma(t) = \frac{d\gamma(t)}{dt}$
- dla całego palca - opuszki (L1+L2+L3) w płaszczyźnie XY $\omega_\psi(t) = \frac{d\psi(t)}{dt}$

- dla całego palca - opuszki w przestrzeni XYZ $\omega_{(\psi,\lambda)}(t) = \frac{f[d\psi(t), d\lambda(t)]}{dt}$

2. **Prędkość liniową**

- ogólnie dla poszczególnych paliczków $v_i(t) = L_i \omega_i(t), i=1,2,3.$
- dla całego palca - opuszki w płaszczyźnie XY $v_{(L_o-c)}(t) = L_{(L_o-c)}(t) \omega_{(\psi)}(t)$
- dla całego palca - opuszki w przestrzeni XYZ $v_{(L_o-c)}(t) = L_{o-c}(t) \omega_{(\psi,\lambda)}(t)$

3. **Przyśpieszenia kątowe poszczególnych paliczków oraz całego palca**

- ogólnie dla poszczególnych paliczków $\epsilon_i(t) = \frac{d\omega_i(t)}{dt}, i=1,2,3.$
- dla całego palca - opuszki w płaszczyźnie XY $\epsilon_{(\psi)}(t) = \frac{d\omega_{(\psi)}(t)}{dt}$
- dla całego palca - opuszki w przestrzeni XYZ $\epsilon_{(\psi,\lambda)}(t) = \frac{d\omega_{(\psi,\lambda)}(t)}{dt}$

4. **Przyśpieszenia liniowe poszczególnych paliczków jak i całego palca**

- ogólnie dla poszczególnych paliczków $a_i(t) = L_i \frac{d\omega_i(t)}{dt}, i=1,2,3.$
- dla całego palca - opuszki w płaszczyźnie XY $a_{(\psi)}(t) = L_{(L_o-c)}(t) \frac{d\omega_{(\psi)}(t)}{dt}$
- dla całego palca - opuszki w przestrzeni XYZ $a_{(\psi,\lambda)}(t) = L_{L_o-c}(t) \frac{d\omega_{(\psi,\lambda)}(t)}{dt}$

5. **Momenty sił uzyskiwane przez poszczególne paliczki oraz przez cały palec**

- ogólnie dla poszczególnych paliczków $M_{(i)}(t) = L_{(i)}(t) F_{(i)}(t) i=1,2,3.$
- dla całego palca - opuszki w płaszczyźnie XY $M_{(\psi)}(t) = L_{o-c}(t) F_3(t)$
- dla całego palca - opuszki w przestrzeni XYZ $M_{R(\psi,\lambda)}(t) = L_{o-c}(t) \sqrt{F_3^2(t) + F_4^2(t)}$

przy założeniu, że paliczki przemieszczają zadane obciążenie zawsze prostopadłe do kierunku wykonywanego przez nie ruchu

6. **Praca wykonywana przez paliczki oraz cały palec w rozważaniach kątowych**

- ogólnie dla poszczególnych paliczków $P_i(t) = L_i(t) F_i(t) \zeta(t); \zeta = f[\alpha, \beta, \gamma];$
- dla całego palca - opuszki w płaszczyźnie XY $P_{(\psi)}(t) = L_{o-c}(t) F_3(t) \Psi(t)$

- dla całego palca - w przestrzeni XYZ $P_{(\psi,\lambda)}(t) = L_{o-c}(t) \sqrt{[F_3^2(t) + F_4^2(t)] [\Psi^2(t) + \lambda^2(t)]}$

7. **Moce osiągnięte w czasie ruchu wyrażone w mierze kątowej (dla ruchu obrotowego)**

- ogólnie dla poszczególnych paliczków $N_i(t) = L_i(t) F_i(t) \omega_i(t)$
- dla całego palca - opuszki w płaszczyźnie XY $N_{(\psi)}(t) = L_{o-c}(t) F_3(t) \omega_{(\psi)}(t)$
- dla całego palca - w przestrzeni XYZ $N_{(\psi,\lambda)}(t) = L_{o-c}(t) \sqrt{[F_3^2(t) + F_4^2(t)] [\omega_{(\psi)}^2(t) + \omega_{(\lambda)}^2(t)]}$

Analiza komputerowa otrzymywanych na bieżąco chwilowych zmian wartości wyszczególnionych powyżej parametrów, pozwalała na określenie funkcji zachowywania się poszczególnych paliczków jak i całego palca w czasie wykonywanego ruchu. Jednak żaden z tych parametrów nie odzwier-

ciędlu jednoznacznie możliwości ruchowo siłowych paliczków, ponieważ na podstawie wykonanego ruchu z małym obciążeniem nie potrafimy dać odpowiedzi, na pytanie jak zachowa się palec kiedy będzie musiał przesunąć większe obciążenie i odwrotnie tzn., znając parametry ruchu z większym obciążeniem nie możemy nic powiedzieć odnośnie zachowania się palca przy wykonywaniu ruchu swobodnego lub z znikomo małym obciążeniem.

W celu możliwości jednoznacznego określania wydatkowanej energii przez poszczególne paliczki jak i cały palec w czasie wykonywanego ruchu, proponuje się wprowadzić nowy parametr nazwany roboczo przez autora jako **wydolność paliczków** i oznaczony jako Wp1, Wp2, Wp3 oraz dla całego palca jako - **wydolność palca** określonego symbolem Wp.

Zaproponowany parametr wydolności wyrażony jest sumą iloczynów chwilowych wartości wydatkowanej siły F1,F2,F3, odpowiadających kwadratowi przemieszczeń kątowych a,b,g, w stosunku do przyrostów czasowych t1,t2,t3, określanych jako:

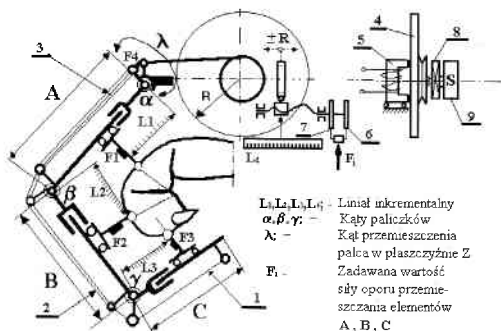
Wydolność

$$- \text{dla paliczków palca } W_{p(\alpha,\beta,\gamma)} = \int_0^{\alpha_0} \int_0^{\beta_0} \int_0^{\gamma_0} [F_1(t)F_2(t)F_3(t)] \cdot [d\alpha, d\beta, d\gamma] \quad (4)$$

$$- \text{dla całego palca w płaszczyźnie } W_p(\Psi) = \int_0^{\Psi} F_3(t) \cdot \Psi \left[\frac{\text{rad}^2 \cdot \text{N}}{\text{s}} \right] \quad (5)$$

$$- \text{dla całego palca w przestrzeni } W_p(\Psi, \lambda) = \int_0^{\lambda} \int_0^{\Psi} F_3(t) \cdot F_4(t) \cdot \Psi \cdot d\lambda \quad (6)$$

Geometryczną interpretacją wydolności palca w płaszczyźnie strzałkowej jest powierzchnia pola ograniczona funkcją chwilowych wartości mocy osiągniętej przez opuszkę palca w przyrostach czasowych a odległością przebytej drogi wyrażonej w mierze kątowej przez kąt $\gamma(t)$.



Rys. 3. Koncepcja określania parametrów energetycznych palca

Przedstawiona analiza ruchu paliczków palca w płaszczyźnie i przestrzeni, wraz z określaniem niezbędnych parametrów ruchowo siłowych, pozwalających na dynamiczną analizę ruchu paliczków oraz wyznaczenie parametrów "wydolności", dają wytyczne do realizacji projektu przyrządu pomiarowego. Wynika z tego, że w celu realizacji ciągłego pomiaru rozwijanej siły przez poszczególne paliczki, należy zaprojektować taki przyrząd, który umożliwi w sposób dynamiczny, określać podstawowe parametry ruchu (przeszyczenie, siła w czasie), w całej przestrzeni układu współrzędnych prostokątnych X,Y,Z, o obszarze pomiarowym równym długości zastępczej palca (Lo-c)max według rysunku 2.

Dlatego proponuje się skonstruowanie mini-manipulatora o trzech przegubach, którego model kinematyczny pozwalałaby odwzorować ruchy paliczków palca. Koncepcję modelu mechanicznego przyrządu pomiarowego opartego na konstrukcji mini-manipulatora przedstawiono na rysunku 3. Zbudowany jest z trzech podobnych mechanizmów A,B,C z których, każdy może przybierać dowolne położenie w zależności od możliwości ruchowych palca i jest niezależnie

sterowany za pomocą linek 1,2,3 i trzech niezależnych układów napędowo-hamujących. Wielkość oporu obrotu ramion mini-manipulatora, zrealizowano na zasadzie hamowania metalowej tarczy 4, przez elektromagnes 5. Skuteczność działania całego układu uzależniona jest od promienia R, na którym jest umieszczony elektromagnes. Żądaną wielkość oporu obrotu ramion mini-manipulatora, nastawia się ręcznie z klawiatury specjalizowanego mikrokomputera i jest realizowana przez zespół układu nadajno-wykonawczego, składającego się z silnika krokowego 6, optoelektronicznego przetwornika kąta 7 i przekładni śrubowej 8. Linią inkrementalną L4 kontroluje poprawność nastawienia wartości promienia hamowania R. Wszystkie sygnały pomiarowe uzyskiwane z miniatury linek inkrementalnych L1,L2,L3,L4 oraz subminiatury przetworników kąta a, b, g, l jak również z przetworników siły F1, F 2, F 3, F4 po odpowiedniej filtracji przekazywane są do specjalizowanego układu mikroprocesorowego, którego zadaniem jest bieżąca analiza wszystkich na wstępie omówionych parametrów ruchowo siłowych poszczególnych paliczków jak i całego palca tak w układzie płaskim jak i przestrzennym. Efektem końcowym powyższej analizy jest wydruk wartości poszczególnych parametrów ruchu oraz wykresy wydolności poszczególnych paliczków oraz całego palca.

Przeprowadzenie badania, polega na ustaleniu i zadaniu odpowiedniego obciążenia, które dla warunków optymalnych powinno wynosić około 75% maksymalnej siły palca w pozycji wyprostu w warunkach statycznych. Następnie należy, poprosić badaną osobę o wykonanie, maksymalnego zgięcia palca w możliwie najkrótszym czasie. Podczas wykonywania ruchu, na bieżąco odbierane są i analizowane informacje dotyczące zachowania się poszczególnych paliczków w przestrzeni.

Podsumowanie

Opracowana metoda badawcza jak i koncepcja przyrządu pomiarowego pozwalają na kompleksową ocenę dowolnych parametrów ruchowo siłowych każdego paliczka w czasie trwania ruchu. Natomiast parametr wydolności Wp określa całkowitą wartość wydatkowanej energii w całym zakresie jego przemieszczania. Znajomość przedstawionych parametrów umożliwia postawienie pełnej i obiektywnej diagnozy dotyczącej zdolności ruchowo-siłowych paliczków badanego palca. Na tej podstawie możliwa jest wymierna ocena stopnia dysfunkcji palców po odniesionych urazach, względnie postępów prowadzonej rehabilitacji. Rozbudowując opisaną aparaturę, powyższą metodę można zastosować do oceny funkcjonalnej całej kończyny górnej jak i dolnej.

LITERATURA

- [1] Landsmeer J.M.F.: Studies in the Anatomy of articulation (Part I and II), Acta Morph. Neerlando - Scandin rol. III. No 3-4, 1960r.
- [2] Yamashita T., Mori M.: Engineering Approaches to Funktion of Fingers. Univ. of Tokyo 1963r.
- [3] Morecki A.,Ekiel J.,Fidelus K.: Sterowanie maszyn i żywych organizmów miopotencjalami. Archiwum Budowy Maszyn. Warszawa, PWN T XI-1964r.
- [4] Morecki A.,Ekiel J.,Fidelus K.: Cybernetyczne systemy ruchu kończyn zwierząt i robotów. Warszawa, PWN 1979
- [5] Paczyński P.: Metoda badania zdolności ruchowej palców ręki. Praca doktorska. Politechnika Poznańska. Poznań, 1981
- [6] Paczyński P., Chajda J.: Układ pomiarowo-rejestrujący urządzenia do pomiaru siły i czynności ruchowej palca. Patent RP nr. 167357 - 1995
- [7] Paczyński P.: A concept of determining the energetic parameters of fingers. 2nd International Conference MEASUREMENT '99. Bratysława.