

Kazimierz FIDELUS, Krzysztof BUŚKO, Elżbieta OSTROWSKA, Czesław URBANIK,  
Michał WYCHOWAŃSKI.

Akademia Wychowania Fizycznego w Warszawie

## SIŁY ROZWIJANE PRZEZ RĘKĘ W ZALEŻNOŚCI OD MOMENTÓW SIŁ ROZWIJANYCH W STAWACH: RAMIENNYM I ŁOKCIOWYM

**Streszczenie.** Poszukuje się pozycji katowych w stawach kończyn górnych, przy których rozwijane są maksymalne siły zewnętrzne przez rękę. Mierzono momenty sił mięśni stawów ramiennego i łokciowego w funkcji ich kątów. Dyskutuje się także weryfikację równania symulacyjnego, opisującego te zależności.

**Summary.** It was searching such angular positions of the upper extremities, which allows to develop the maxima of external forces of the hand. The muscles torques of the shoulder and elbow joints, as a function of their angles, was measured. On discussed also the verification of the simulation formula, describing these relationships.

**Zusammenfassung.** Die größten Muskelnkraftmomente (Mm) im Schultergelenk vorkommen beim Winkel von  $-30^{\circ}$  bis  $25^{\circ}$ , ihre Werte sind ungefähr 50 – 60 Nm. In dem Ellenbogengelenk registriert man die maximalen Mm zwischen  $70^{\circ}$  und  $130^{\circ}$  des Gelenkwinkels. Es wird mittels einer Simulationsgleichung der Zusammenhang zwischen Mm und den Kräften der Hände beschrieben.

### 1. WSTĘP

Optymalizacja rozmieszczenia urządzeń i stanowisk pracy polega głównie na zapewnieniu komfortu fizycznego i psychicznego człowieka podczas pracy. Komfort ten bywa osiągany przy prawie że minimalnym wydatku energetycznym pracujących kończyn. Napięcie mięśni, a ściślej ich momenty sił ( $M_m$ ) zależą od położenia katowego w danym stawie. Jeżeli przyjąć, że podczas maksymalnego napięcia mięśni, niezależnie od położenia katowego w stawach, wydatek energetyczny jest zawsze podobny, to minimalny wydatek zostanie osiągnięty w tych położeniach, w których  $M_m$  mają wartość maksymalną. Obszar ten może być wykorzystany przez projektantów maszyn, urządzeń i stanowisk pracy.

Wartość siły rozwijanej przez końcówkę (ręka) zależy od jej kierunku działania względem osi stawów. Np. podczas ciągnięcia wzdłuż kończyny można rozwinąć większe siły zewnętrzne niż w kierunkach prostopadłych do niej. Dotychczas prowadzono badania wartości sił rozwijanych przez całą kończynę górną wraz z obręczą barkową (McCornick E. J., Hunsicher P. A., Gerasimiuk J., Chaffin B., Andersson G. B.). Za pomocą pomiarów bezpośrednich oceniano efekty siłowe kończyny w różnych punktach przestrzeni roboczej. Cel pracy:

- pomiar maksymalnych wartości charakterystyk statycznych zespołów mięśni zginaczy i prostowników stawów łokciowego i ramiennego,
- wyznaczenie na podstawie płaskiego dwuczłonowego modelu biomechanicznego

kończyny górnej, wartości maksymalnych sił zewnętrznych wywieranych na uchwyt przez rękę. Niewielka prędkość ruchu przy obsłudze urządzeń oraz niewielki skok elementów sterowniczych pozwalają przyjąć, że zachowane są chwilowo warunki statyki, a więc pomiar wartości maksymalnych momentów sił w stawach wykonuje się w różnych położeniach kątowych przy zachowaniu warunków statyki,

- zakłada się stabilizację obręczy barkowej oraz tułowia i dlatego przyjmuje się obszar pomiarowy określony przez kąty, mierzone po stronie przedniej kończyny:
- $30 < \alpha < 70$  - kąt w stawie ramiennym,
- $40 < \beta < 170$  - kąt w stawie łokciowym.

## 2. MATERIAŁ I METODA BADAWCZA

W eksperymencie uczestniczyło 9 studentek AWF w wieku 23-24 lat o masie  $m=57 \pm 3$  kg i wysokości ciała  $h=167 \pm 3$  cm. Pomiar momentów sił mięśniowych wykonano na stanowisku badawczym (K. Fidelus i wsp. 1983) zgodnie z następującymi zasadami:

- pomiar  $M$  musi dotyczyć jednego zespołu mięśniowego i dlatego konieczna jest stabilizacja sąsiednich odcinków ciała,
- na pomiar  $M$  nie może mieć wpływu technika ruchu, której udział jest ograniczony w warunkach statyki,
- przyjęto od 4 do 5 położenia kątowych w stawach,
- stosowano dynamometry pierścieniowe z czujnikiem zegarowym o zakresie pomiarowym 0-1000 N (dokładność  $\epsilon = -10$  N),
- pomiaru ramienia siły dokonano za pomocą linijki z dokładnością  $\delta = -0.5$  cm, na co rzutowała dokładność ustalenia osi obrotu w stawie.

Jako model fizyczny kończyny górnej człowieka przyjęto dwa sztywne człony: ramię (człon I) i przedramię wraz z ręką (człon II), leżące w płaszczyźnie strzałkowej przechodzącej przez środek stawu ramiennego - początek układu Oxy stanowi oś obrotu w stawie ramiennym. Konfigurację kończyny górnej opisano za pomocą kątów  $\alpha$  - w stawie ramiennym i  $\beta$  - w stawie łokciowym. Do modelu wstawiono wartości zmierzonych eksperymentalnie  $M_m$  i na ich podstawie obliczono przypuszczalne wartości sił zewnętrznych, rozwijanych przez rękę względem otoczenia.

## 3. WYNIKI POMIARÓW I DYSKUSJA

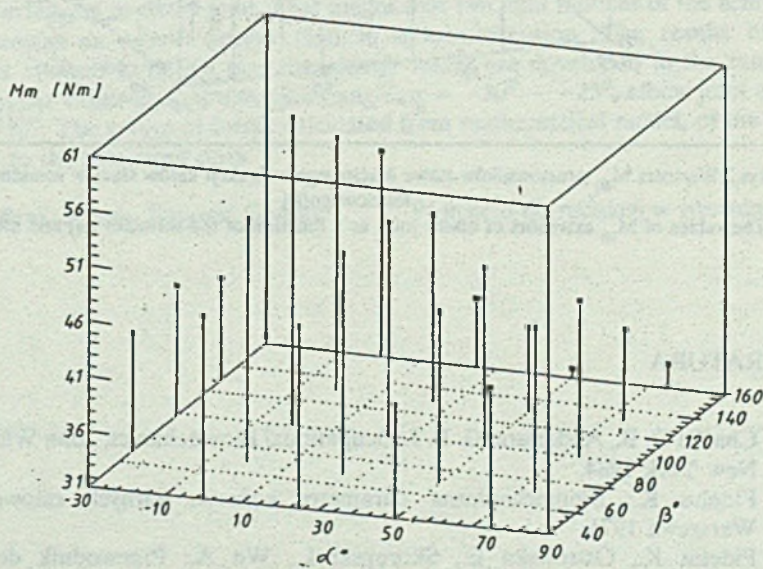
Średnie wartości  $M_m$  zginaczy i prostowników stawu łokciowego, przy kącie w stawie ramiennym równym  $90^\circ$ , podano w tabeli 1. Wartości tych momentów sił są podobne i mieszczą się w granicach 50-60 Nm. Momenty sił zginaczy stawu ramiennego maleją w miarę zginania w tym stawie, a momenty sił prostowników mają swoje wartości maksymalne w granicach 0-50 w stawie ramiennym. Na rys. 1 i 2 przedstawiono średnie wartości  $M$  zginaczy i prostowników stawu łokciowego w funkcji kątów stawów: ramiennego ( $\alpha$ ) i łokciowego ( $\beta$ ). Momenty sił zginaczy stawu łokciowego są istotnie większe od  $M$  prostowników tego stawu. Ponadto zmiana położenia kątowego w stawie

ramiennym bardziej wpływa na wartość  $M_m$  zginaczy niż  $M_m$  prostowników stawu łokciowego. Oznacza to większy udział mięśni dwustawowych ramienia w zginaniu, niż w prostowaniu w stawie łokciowym (K. Fidelus 1971).

Tabela 1

Średnie wartości momentów sił ( $M_m$ ) oraz standardowe odchylenia ( $s_d$ ) zginaczy i prostowników w funkcji kąta ( $\alpha$ ) stawu ramiennego

Kąt $\alpha$	Zginanie		Prostowanie	
	$M_m$ [Nm]	$s_d$ [Nm]	$M_m$ [Nm]	$s_d$ [Nm]
-30	61.0	22.7	57.0	15.5
0	58.9	14.5	60.5	13.6
25	58.9	14.3	60.2	19.9
50	57.4	20.8	60.2	15.3
75	54.8	16.0	57.8	15.4

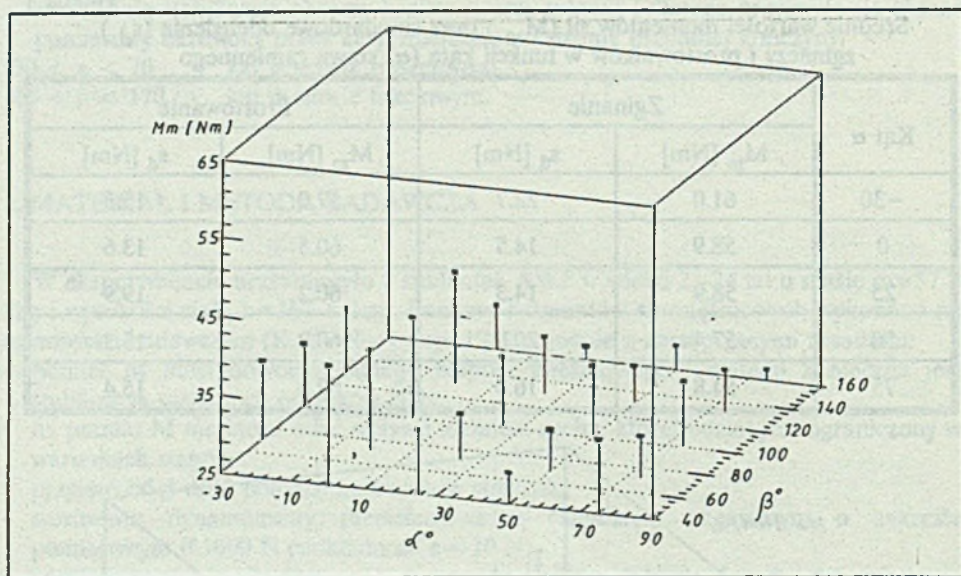


Rys.1. Wartości  $M_m$  zginaczy stawu łokciowego w funkcji kątów stawów ramiennego ( $\alpha$ ) i łokciowego( $\beta$ )

Fig.1.The values of  $M_m$  flexors of elbow joint as a function of shoulder ( $\alpha$ ) and elbow ( $\beta$ ) joints

Wyniki badań pozwoliły określić optymalny zakres położenia kończyny górnej podczas rozwijanych sił zewnętrznych przez rękę. Ma to miejsce wówczas, gdy kąty w stawach są następujące:  $\alpha = -30^\circ - 25^\circ$ ,  $\beta = 70^\circ - 130^\circ$ . Wyliczone z modelu symulacyjnego wartości sił zewnętrznych, rozwijanych przez rękę względem otoczenia, w zasadzie były

zgodne z danymi pomiarowymi. Powstające różnice w skrajnych położeniach kątowych można tłumaczyć włączaniem się mięśni antagonistycznych dla danego ruchu. Napięcie mięśni antagonistycznych daje lepszą stabilizację stawu oraz może zmniejszać naprężenia w układzie kostno-stawowym.



Rys.2. Wartości  $M_m$  prostowników stawu łokciowego w funkcji kątów stawów ramienego ( $\alpha$ ) i łokciowego ( $\beta$ )

Fig.2. The values of  $M_m$  extensors of elbow joint as a function of the shoulder ( $\alpha$ ) and elbow ( $\beta$ ) joints

## LITERATURA

- [1] Chaffin D. B., Andersson G. B. J.: Occupational Biomechanics, John Wiley and Sons, New York 1984.
- [2] Fidelus K.: Biomechaniczne parametry kończyn górnych człowieka. PWN, Warszawa 1971.
- [3] Fidelus K., Ostrowska E., Skorupski L., Wit A.: Przewodnik do ćwiczeń z biomechaniki. Wydawnictwa AWF, Warszawa 1983.
- [4] Fox E. L., Mathews D. K.: Bases physiologiques de l'activite' physique. Ed. Vigot, Paris 1984.
- [5] Ostrowska E., Urbanik Cz., Wychowański M.: Zależności między momentami sił mięśniowych a położeniem kątowym w stawach ramienym i łokciowym. Raport nr 1 wykonany na zlecenie CIOP, AWF, Warszawa 1990.

## THE FORCES DEVELOPED WITH THE HAND DEPENDING ON MUSCLE TORQUES EXISTING IN THE SHOULDER AND ELBOW JOINTS

### Abstract

The aim of this work is to measure the torque of muscles of the upper extremities as a function of the angles in elbow and shoulder joints. Then the verification of calculated values with the help of mathematical model, of the forces developed by the hand.

Nine healthy women, students of Academy of Physical Education in Warsaw were participated in this study. The age was 23 – 24 years, mean body mass  $57 \pm 3$  kg and mean body height was  $167 \pm 3$  cm. The special static dynamometer stand was used.

In this paper upper extremity was modeled as a system consisting of two rigid bodies. Mathematical model of this system gives possibilities to calculate the forces developed with the hand depending on the measured values of the muscles torques. Measure torques shoulder joint flexors decrease with the angle of the flexion in this joint. Torques of the extensors are maximal when joint angle in shoulder joint is between 0 and  $50^\circ$ . Range values of this torques is 50 – 60 Nm. Mean values of extensors and flexor torques  $M_m$  in elbow joint are depending on angles position in shoulder joint ( $\alpha$ ) and elbow joint ( $\beta$ ). They are shown in Fig.1 and Fig.2. Flexor torques are essentially greater than those of extensors in elbow joint. Changes of the angle in shoulder joint give more changes of flexors than extensors in elbow joint. That means that two joint muscles of the arm have greater influences in elbow flexion than in elbow extension. The results of the investigations allowed to define that the greater forces are developed in the range of position of upper extremity: shoulder joint angle:  $\alpha = -30^\circ - -25^\circ$ , elbow joint angle  $\beta = 70^\circ - 130^\circ$ . The values of forces calculated from mathematical model, of the hand were similar to the measured ones.

Recenzent: Prof. dr hab. Krzysztof Kędzior

Wpłynęło do redakcji w styczniu 1992