

Andrzej JAWORSKI, Grzegorz KRZESIŃSKI, Piotr MAREK, Robert GRANOWSKI,
Witold RAMOTOWSKI

Inst. Tech. Lotn. i Mech. Stos. Politechniki Warszawskiej, Centralny Szpital Kliniczny
MSW, Warszawa

URZĄDZENIE DO KOMPUTEROWEGO BADANIA ZROSTU KOSTNEGO W ZŁAMANIACH LECZONYCH METODĄ "ZESPOL"

Streszczenie. W pracy opisano nową metodę pomiaru sztywności mechanicznej złamań leczonych zewnątrznym stabilizatorem płytkowym ZESPOL. Przedstawiono urządzenie do komputerowego badania zrostu kostnego.

Summary. A new method for the measurement of the mechanical stiffness of fracture treated with unilateral external ZESPOL plate fixator is described in the paper. The computerized measuring device for fracture consolidation assesment is presented.

Zusammenfassung. Eine neue experimentelle Methode der Messungen der mechanischen Steifigkeit der verwachsenden langen Knochen des Menschen im Laufe einer Heilung mit der "ZESPOL"-Platte Methode wurde vorgestellt. Ein Gerät zur Abschätzung des Fortschreitens der Knochenverwachsung gesteuert mit einem FORTRAN Programm ist beschrieben.

1. WSTĘP

Prawidłowa ocena wytrzymałości zrostu kostnego jest niezwykle ważna w procesie leczenia. W dotychczasowej praktyce klinicznej lekarz dysponuje dwoma sposobami oceny zrostu kostnego, zdjęciami rtg i ręcznym sprawdzeniem sztywności połączenia odłamów. Obydwa te sposoby są subiektywne i niepewne. Zdarzają się powikłania w leczeniu złamań spowodowane przedwczesnym zezwoleniem na pełne obciążanie kończyny, a z drugiej strony w wielu przypadkach niepotrzebnie przedłuża się czas ograniczonego jej obciążania. W ostatnich latach prowadzone są wszechstronne próby poznania i doskonalenia mechaniki płytkowego zespolenia kości: badania laboratoryjne (np.[1]), symulacja komputerowa (np. za pomocą metody elementów skończonych [2]), badania i obserwacje kliniczne. Zarówno w badaniach laboratoryjnych, jak i symulacjach komputerowych napotyka się wiele trudności przy budowie modeli połączenia. Złożona struktura materiału kości, rozrzut własności mechanicznych, trudności w odtworzeniu rzeczywistych warunków kontaktu elementów stabilizatora z kością, jak i niemożność odtworzenia rzeczywistego stanu obciążenia układu stabilizator-kość sprawiają, że modele zawierają daleko idące uproszczenia. W efekcie prowadzi to do otrzymywania wyników tylko jakościowych, często odbiegających znacznie od rzeczywistości. Badania modelowe mogą zatem dostarczyć pewnych ogólnych danych o pracy połączenia, nie mogą jednak określić stanu i jakości połączenia w konkretnych przypadkach klinicznych.

Opracowana metoda i urządzenie pozwalają na bezpośredni pomiar obciążeń przenoszonych przez stabilizator w trakcie leczenia, na ocenę jego pracy i obserwację procesu zrostu. Próby realizacji podobnych prac podejmowane również były przez innych autorów ([3]). Analiza wyników badań przeprowadzanych za pomocą opracowanego urządzenia może być podstawą doskonalenia konstrukcji stabilizatora.

2. ROZWAŻANIA TEORETYCZNE

Na rys.1 przedstawiono schematycznie pracę stabilizatora ZESPOL w połączeniu mostującym. W tym połączeniu wszelkie siły, którym poddana zostanie kość muszą zostać przeniesione przez płytkę. W trakcie postępującego zrostu kości powstająca nowa tkanka włącza się do pracy, by w końcowej fazie leczenia całkowicie przejąć siły wynikające z obciążeń zewnętrznych. Dokonując ilościowej oceny sił wewnętrznych w płytce można określić jej udział w pracy całego zespolenia (wraz z postępującym zrostem udział ten będzie się zmniejszał).

Niech S będzie wektorem sygnałów odczytywanych w układach tensometrów:

$$S = \begin{Bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ s_4 \end{Bmatrix}.$$

Poszukiwany jest wektor sił wewnętrznych w płytce:

$$M = \begin{Bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \\ M_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} M_s \\ M_p \\ M^* \\ N \end{Bmatrix}.$$

Przyjmując liniowy charakter procesu obciążania możemy zapisać zależność:

$$S = A * M,$$

przy czym:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix},$$

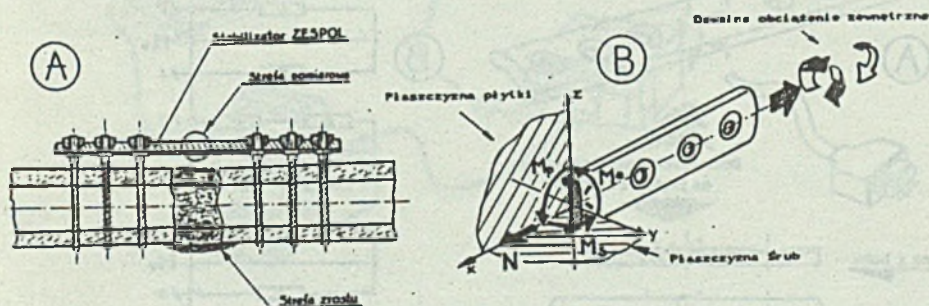
gdzie a_{ij} są współczynnikami określającymi zmianę sygnału układu i -tego spowodowaną przez jednostkową zmianę j -tej składowej obciążenia.

Współczynniki a_{ij} wyznaczono przez cechowanie, a ich wartości odpowiadają konkretnej, badanej płytce (każda płytka musi być cechowana indywidualnie).

Jeśli teraz obliczymy macierz odwrotną do A, wtedy

$$M = A^{-1} * S \quad ,$$

a zatem dokonując pomiaru sygnałów s_1, s_2, s_3, s_4 określić można wielkości sił wewnętrznych w płytce.



Rys.1.Praca stabilizatora w połączeniu mostującym
Fig.1.Scheme of the bridging 'ZESPOL' osteosynthesis

3. UKŁAD POMIAROWY

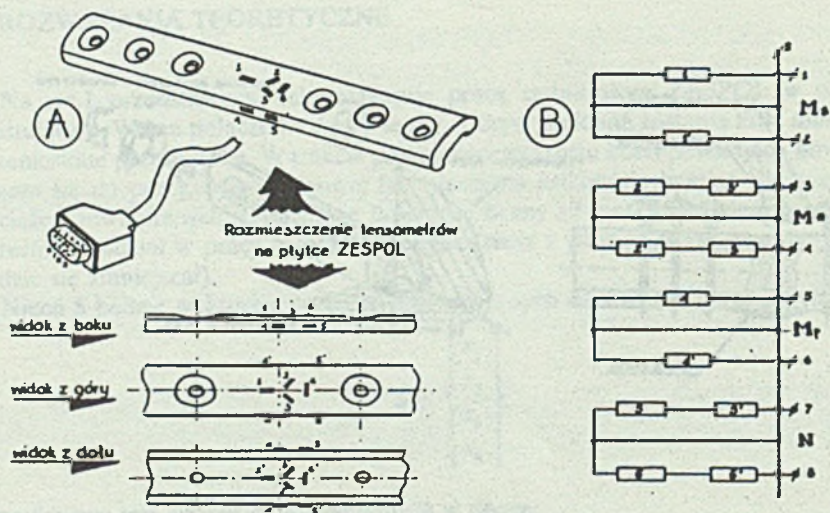
W skład zestawu pomiarowego (rys.3) wchodzi:

- 1) płytka—stabilizator z naklejonymi na nim układami tensometrów foliowych (rys 2),
- 2) 4-kanałowy wzmacniacz tensometryczny,
- 3) zestaw mikrokomputerowy,
- 4) karta analogowo—cyfrowa (wbudowana w zestaw komputerowy),
- 5) drukarka.

Na rys.1 pokazano siły wewnętrzne w przekroju środkowym płytki dla przypadku dowolnego obciążenia zewnętrznego (pominięto siły tnące, które nie mają istotnego wpływu na mechanikę połączenia). Składowymi tymi są:

- M_s - moment gnący w płaszczyźnie śrub,
- M_p - moment gnący w płaszczyźnie płytki,
- M - moment skręcający,
- N - siła normalna.

Ze względu na nieregularny kształt przekroju płytki nakleja się na niej w odpowiedni sposób tensometry i połączono w cztery niezależne układy półmostkowe (rys. 2) tak, iż pozwala to na równoczesny pomiar składowych wysiłku przekroju środkowego płytki (rys.1), poprzez pomiar zmian napięcia na wyjściu z układów. Zastosowano tensometry foliowe o bazie 1.2+3mm.

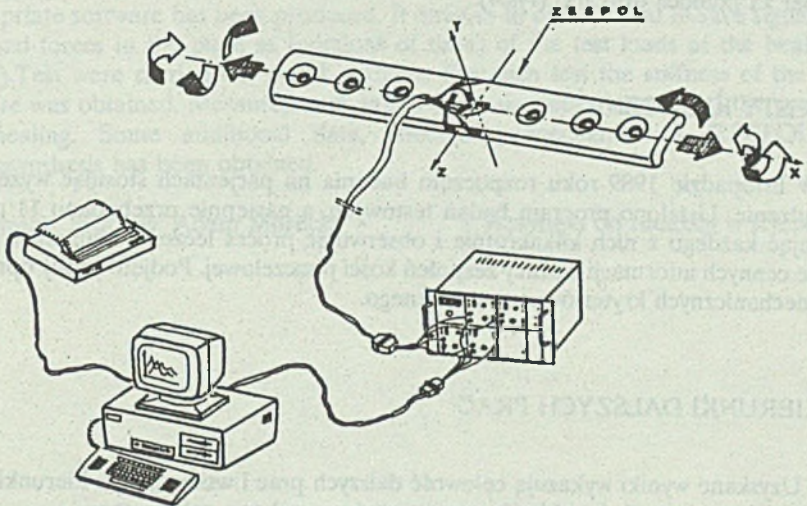


Rys.2. Tensometry na płytce i schemat ich połączenia
Fig.2. Strain gauge system on the 'ZESPOL' plate

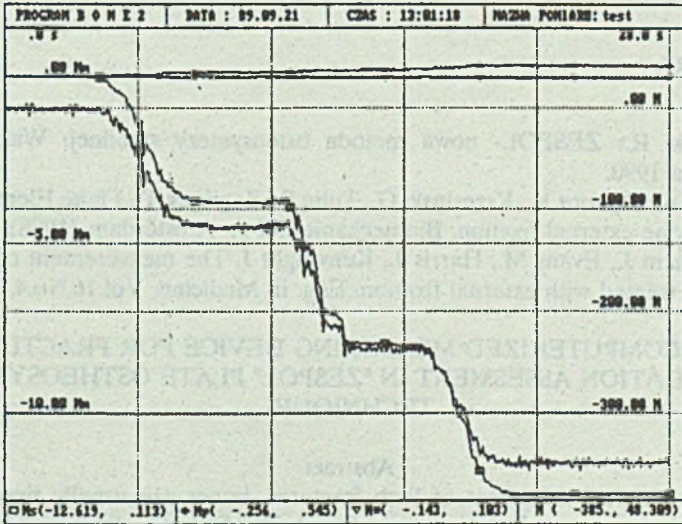
Czujnikiem pomiarowym zestawu jest płytka ZESPOL z naklejonymi na niej czterema układami tensometrów. Płytką stanowiącą część układu stabilizującego złamaną kończynę pacjenta poddana jest działaniu pewnych nieznanych, zmiennych w czasie sił. Aby móc rejestrować zmienne w czasie wielkości sił wewnętrznych w przekroju środkowym płytki wzmacniacz tensometryczny połączony został z mikrokomputerem wyposażonym w przetwornik analogowo-cyfrowy.

Przetwornik umożliwia zamianę sygnałów analogowych na wartości cyfrowe i odczytuje wskazania kolejnych sygnałów w cyklu od kilku do kilkudziesięciu mikrosekund.

Rejestrowane zmienne w czasie sygnały cyfrowe przetwarzane są za pomocą wyspecjalizowanego programu i prezentowane liczbowo lub graficznie na ekranie komputera (w postaci wykresu sił wewnętrznych jako funkcji czasu).



Rys.3.Schemat zestawu pomiarowego
Fig.3.Diagram of test equipment



Rys.4.Wykresy ilustrujące przebieg całego pomiaru
Fig.4.Measured internal forces during a test load of the plate fixation system

Każdy wynik można utrwalić w postaci zbioru na dysku komputera lub przenieść na papier za pomocą drukarki (rys.4).

4. TESTY KLINICZNE

W listopadzie 1989 roku rozpoczęto badania na pacjentach stosując wyżej opisane urządzenie. Ustalono program badań testowych, a następnie przebadano 11 pacjentów badając każdego z nich kilkakrotnie i obserwując proces leczenia złamania. Uzyskano wiele cennych informacji o pracy zespołów kości piszczelowej. Podjęto próby opracowania biomechanicznych kryteriów zrostu kostnego.

5. KIERUNKI DALSZYCH PRAC

Uzyskane wyniki wykazują celowość dalszych prac i wskazują ich kierunki:

- 1) zwiększenie czułości układów tensometrów na płycie stabilizatora,
- 2) doskonalenie parametrów techn. aparatury pomiarowej,
- 3) rozszerzenie możliwości oprogramowania,
- 4) opracowanie metod diagnostyki, standaryzacja testów.

LITERATURA

- [1] Granowski R.: ZESPOL- nowa metoda osteosyntezy stabilnej. Warsz.Ak.Med., Warszawa 1990.
- [2] Jaworski A., Kędzior K., Krześciński G., Tulin P., Zagrajek T.: Finite Element analysis of long bone external fixation. Biomechanics XI-A, Amsterdam (1988).
- [3] Cunningham J., Evans M., Harris J., Kenwright J. The measurement of stiffness of fractures treated with external fixation. Eng. in Medicine, Vol.16,No.4,(1987).

THE COMPUTERIZED MEASURING DEVICE FOR FRACTURE CONSOLIDATION ASSESMENT IN "ZESPOL" PLATE OSTHEOSYNTHESIS TECHNIQUE

Abstract

In modern surgical treatment of limb fractures, bones are usually fixed with steel stabilizers of various types. Standard clinical methods of assessing fracture healing rely on manual and radiographic assesment. Both of these are subjective. The aim of the presented work is to provide an objective, quantitative measurement of force distribution in 'ZESPOL' plate osteosynthesis (Fig.1) and estimation of fracture healing. The presented method and the measurement setup enable to measure the bending and torsion moments and the compressive force in the plate during test loading of the healed

limb. The plate with four strain gauge sets (Fig.2) is calibrated prior to use. The associated strain gauge amplifier is connected with the IBM PC microcomputer (Fig.3) for which appropriate software has been produced. It enables to observe and to save signal history (internal forces in the plate as functions of time) of the test loads of the healed limb (Fig.4). Tests were carried out on 11 patients. For each test the stiffness of the healing fracture was obtained. Measurements, taken every six weeks, monitored the progress of the healing. Some additional data, concerning mechanics of 'ZESPOL' plate osteosynthesis has been obtained.

Recenzent: Prof. zw. Adam Morecki

Wpłynęło do redakcji w styczniu 1992

WYKŁADZINE