

BADANIA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH REGENERATU KOSTNEGO OWCY

FILIPIAK J.*, KUROPKA P.**

*POLITECHNIKA WROCŁAWSKA,
UL. ŁUKASIEWICZA 7/9, 50-371 WROCŁAW
**AKADEMIA ROLNICZA WE WROCŁAWIU,
UL. KOZUCHOWSKA 1/3, 51-631 WROCŁAW
E-MAIL: JAROSLAW.FILIPIAK@PWR.WROC.PL

[*INŻYNIERIA BIOMATERIAŁÓW, 58-60,(2006),112-114*]

Wstęp

Metoda osteosyntezy dystrykcyjnej jest obecnie standardową techniką leczenia skrótów kończyn. Idea metody polega na stopniowym zwiększaniu odległości pomiędzy odłamami celowo złamanej kości. W początkowym okresie, 5-6 dni od momentu złamania, szczelina międzyodłamowa wypełniona jest głównie tkanką łączną. Jest to struktura o charakterystyce typowej dla materiału hiperelastycznego. To właśnie tkanka łączna i jej właściwości mechaniczne sprawiają, że możliwe jest stopniowe zwiększanie długości kończyny w tempie 1 mm/dobę. Systematyczne przyrosty odległości między odłamami wydłużanej kości generują stan odkształcenia niedopuszczający do różnicowania się kolejnych struktur tkankowych. Dzięki temu możliwe jest osiągnięcie założonego wydłużenia kości. Dopiero podczas etapu stabilizacji, po osiągnięciu zaplanowanego przyrostu długości leczonej kończyny obserwowany jest intensywnie przebiegający proces powstawania i różnicowania się struktur tkankowych w obrębie regeneratu kostnego. Nie ulega wątpliwości, że szybkość przebiegu procesów różnicowania się struktur tkankowych w szczelinie złamania oraz ich jakość biologiczna zależy od wartości i kierunku przemieszczeń odłamów kostnych [2,4].

Cel i metoda badań

Celem pracy jest określenie wpływu wielkości przemieszczeń odłamów kostnych (DBF) podczas procesu wydłużania kości na właściwości mechaniczne regeneratu kostnego i jego jakość biologiczną. W literaturze przedmiotu znane są prace, w których poddano analizie wpływ wielkości przemieszczeń odłamów na kształtowanie struktury kostniny w szczelinie złamania [1,3]. W przypadku wydłużania kości oddziaływanie przemieszczeń odłamów na procesy zachodzące w obrębie regeneratu są mało poznane. Obserwacje kliniczne i badania histologiczne wskazują, że w trakcie procesu wydłużania jakość biologiczna regeneratu kostnego zmienia się z szybkością zdecydowanie niższą niż w przypadku leczenia złamania [6]. Postawiony cel zrealizowano na drodze badań doświadczalnych. Badania prowadzono na 21 owcach rasy Merynos. Wiek owiec zawierał się w przedziale 2 – 2,5 roku, a ich masa wahała się od 48 do 54kg. Proces wydłużania wg metody Ilizarowa realizowano na kości śródstopia tylnej lewej kończyny (RYS.1a). Wielkość wydłużenia przyjęto na poziomie 20mm. Do tego celu wykorzystano specjalnie zaprojektowany stabilizator badawczy wyposażony w aktuator liniowe, których zadaniem było: i) realizowanie procesu wydłużania kości w tempie 1mm/dobę, do momentu uzyskania założonego wydłużenia, ii) aplikacja stymulacji mechanicznej regeneratu w postaci cyklicznych przemieszczeń odłamów kostnych. Stymulacja regeneratu kostnego

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF SHEEP BONE REGENERATE

FILIPIAK J.*, KUROPKA P.**

*WROCŁAW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
**WROCŁAW AGRICULTURAL ACADEMY
E-MAIL: JAROSLAW.FILIPIAK@PWR.WROC.PL

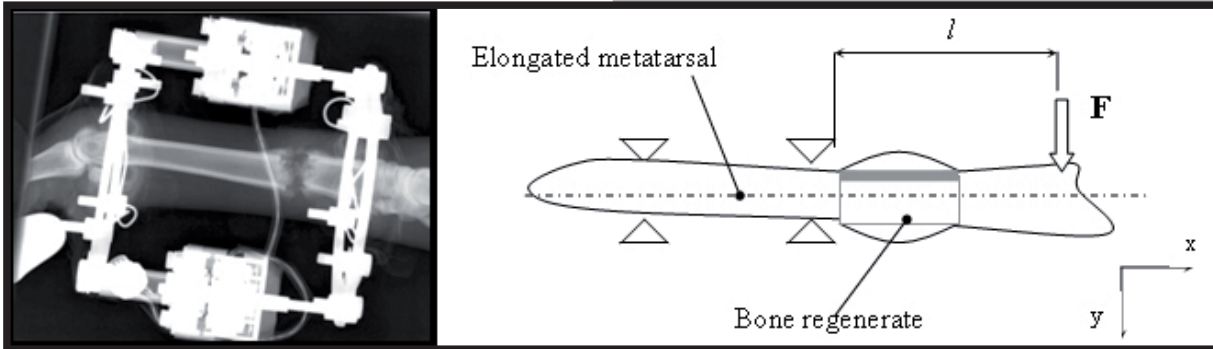
[*ENGINEERING OF BIOMATERIALS, 58-60,(2006),112-114*]

Introduction

The Ilizarov principle of distraction osteogenesis is used in clinical practice to treat limb shortening. The principle consists in gradually increasing the distance between the fragments of a purposefully broken bone. 5-6 days after the fracture the fissure between the fragments is filled mainly with connective tissue with a structure typical for a hyperelastic material. It is thanks to the connective tissue and its mechanical properties that a limb's length can be increased. This is due to the systematic increment in the distance between the fragments of the elongated bone. As a result, a state of strain arises within the bone regenerate, which prevents the differentiation of the successive tissue structures. Owing to this, the intended bone elongation can be achieved. There is no question that the rate with which the tissue structures in the fracture fissure differentiate and their biological quality depend on the values and direction of the displacement of the bone fragments [2,4].

Research aim and method

The aim of this research was to determine how the displacement of the bone fragments (DBF) during bone elongation affects the mechanical properties of the bone regenerate and its biological quality. In the literature on the subject one can find researches in which the effect of the size of bone fragments displacements on the formation of a callus structure in the fracture fissure is examined [1,3]. Whereas the effect of such displacements on the processes taking place within the bone regenerate during bone elongation is still little known. Clinical observations show that during bone elongation the biological quality of the bone regenerate changes at a rate much lower than in the treatment of a fracture [6]. The aim was achieved through experimental research carried out on 21 Merino sheep. The sheep were at an age of 2-2.5 years and weighed 48-54 kg. Elongation according to the Ilizarov principle was performed on the metatarsal bone of the left posterior limb. Elongation of 20 mm. A specially designed fixator (FIG.1a) equipped with linear actuators whose function was to: i) realize bone elongation at a rate of 1mm/24 h until the intended elongation was reached and ii) apply mechanical stimulation (in the form of cyclic displacements of the bone fragments) to the bone regenerate were used for this purpose. The bone regenerate was stimulated at a frequency of 1 Hz for 1 hour each day. The sheep were divided into three measurement groups. The sheep belonging to group A and B (8 sheep in each group) were subjected simultaneously to bone elongation and the mechanical stimulation of the bone regenerate through the repeated displacement of the bone fragments at an value of DBF=1 mm (group A) and DBF=2 mm (group B). The sheep belonging to group R (5 sheep) were subjected to bone elongation without any mechanical stimulation. The



RYS.1. Zdjęcie rentgenowskie przedstawiające stabilizator badawczy zamontowany na kości śródstopia jednej z badanych owiec (a), schemat obciążenia podczas próby zginania regeneratu (b).

FIG.1. X-ray of the metatarsal distraction osteotomy fixed by the ring fixator (a), sheme of the loading system (b).

odbywała się każdego dnia z częstotliwością 1 Hz, przez okres 1 godziny. Owce podzielono na trzy grupy pomiarowe: grupa A i B (po 8 szt.) obejmowała owce, które równocześnie z wydłużaniem poddawane były stymulacji mechanicznej regeneratu poprzez cyklicznie powtarzające się przemieszczenia odłamów kostnych o wartości: DBF=1mm dla grupy A i DBF=2 mm dla owiec z grupy B. Trzecia grupa (5szt.) obejmowała zwierzęta, u których prowadzono wyłącznie standardowy proces wydłużania bez stymulacji mechanicznej (tą grupę przyjęto jako referencyjną R). Po 8 tygodniach od momentu przeprowadzenia zabiegu owce zostały uśmiercone zgodnie z obowiązującymi procedurami. Pobrane preparaty poddano wielokierunkowej analizie, obejmującej badania: radiologiczne, histologiczne i biomechaniczne. W prezentowanej pracy przedstawiono część programu badawczego, obejmującą analizę wpływu przemieszczeń odłamów kostnych na właściwości mechaniczne regeneratu kostnego. Oceniano sztywność regeneratu na podstawie próby zginania (RYS.1b).

Wyniki

Na podstawie przeprowadzonych badań wyznaczono współczynniki sztywności giętej ośmiotygodniowych regeneratów kostnych. Współczynnik sztywności giętej zdefiniowano jako stosunek wartości momentu zginającego do wartości ugięcia badanego preparatu ($k=PI/y$). Na RYS.2 przedstawiono średnie wartości sztywności regeneratów uzyskanych w poszczególnych grupach badawczych. Porównując wyniki uzyskane dla poszczególnych grup badawczych należy stwierdzić, że najniższe wartości sztywności zanotowano dla regeneratów wytworzonych u owiec z grupy R – referencyjnej. Wartości sztywności wyznaczone dla owiec z grupy pomiarowej I (DBF=1mm), są wyższe w stosunku do wartości uzyskanych dla grupy R o 39,7% w płaszczyźnie strzałkowej i o 23,9% w płaszczyźnie czołowej. W grupie B, w której podczas wydłużania generowano cykliczne przemieszczenia odłamów o wartości 2mm różnica wartości w odniesieniu do grupy referencyjnej jest jeszcze większa i wynosi: 93,6% (A-P) i 89,3% (M-L).

Dyskusja

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały istnienie wyraźnego wpływu stymulacji mechanicznej regeneratu kostnego w postaci cyklicznie powtarzających się osiowych przemieszczeń odłamów na tempo przebudowy regeneratu i jego jakość biologiczną. W przypadku procesu wydłużania kości kończyn spośród analizowanych zakresów przemiesz-

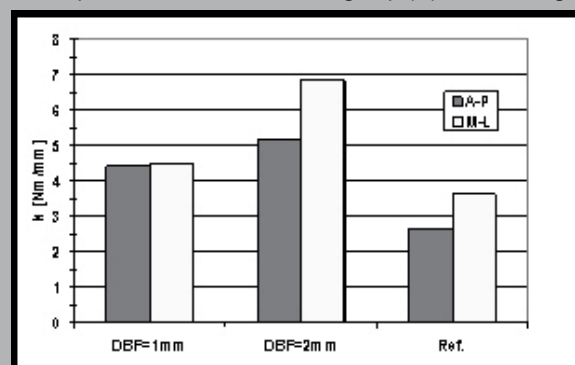
latter group was the reference group.

Eight weeks after the treatment the sheep were killed in accordance with the procedures in force. The preparations taken were subjected to comprehensive examinations including: radiological, histological and biomechanical examinations.

This paper presents the research programme's part covering an assessment of the effect of bone fragments displacements on the mechanical properties of the bone regenerate. The regenerate's rigidity and its biological quality were evaluated on the basis of the degree of development of bone trabeculae. The regenerate's global rigidity was determined in a bend test (FIG.1b).

Results

The bending stiffness coefficients of the eight-week bone regenerates were experimentally determined. The average rigidities of the regenerates in the particular test groups are shown in FIG.2. The lowest rigidity values were recorded for the regenerates produced in the sheep in (reference) group R. In comparison with the reference group, the rigidity values determined in the sheep belonging to group A (in which DBF=1 mm were forced during bone elongation) are higher by 39.7% in the sagittal plane and by 23.9% in the frontal plane. In group B (in which DBF=2 mm were cyclically generated during bone elongation) the difference, in comparison with the reference group (R), is even larger



RYS.2. Wartości sztywności giętej k uzyskanych regeneratów kostnych w funkcji cyklicznych osiowych przemieszczeń odłamów kostnych (DBF).

FIG.2. Calculate average values of bone regenerate bending stiffness k depending on cyclical axial bone fragments displacement (DBF).

czeń odłamów najwyższy wzrost właściwości mechanicznych, wyrażonych wartością sztywności giętej zanotowano dla grupy pomiarowej B (DBF=2mm). Taki poziom stymulacji mechanicznej generuje warunki biomechaniczne zapewniające najwyższe tempo procesu powstawania i różnicowania się struktur tkankowych w obrębie regeneratu powstającego w procesie wydłużania kości. Znajduje to swój wyraz w obrazie histologicznym regeneratów z tej grupy pomiarowej. Dobrze rozwinięte beleczki kostne o wysokim stopniu zmineralizowania i rozbudowana sieć naczyń krwionośnych z licznymi odgałęzieniami w kierunku prostopadłym do osi odłamów świadczą o szybkim tempie rozwoju i przebudowy regeneratu. Wyniki badań histologicznych pozwalają na stwierdzenie, że w przypadku grupy referencyjnej proces tworzenia tkanki kostnej w regeneracie przebiegał na drodze kostnienia wtórnego, na podłożu chrzęstnym. W grupie B przemieszczenia odłamów kostnych o wartości 2mm stworzyły warunki biomechaniczne sprzyjające kostnieniu pierwotnemu. Pozytywnym efektem takiego stanu jest szybsze tempo odtwarzania się struktury tkanki kostnej. Mówiąc o warunkach biomechanicznych mamy na myśli określony stan odkształcenia, ciśnienia i prędkości przepływu płynów w obrębie poszczególnych struktur tkankowych regeneratu kostnego [3,4,5]. To właśnie te bodźce mechaniczne przetwarzane są na poziomie komórkowym w bodźce natury biologicznej, które sterują procesami powstawania i różnicowania się struktur tkankowych.

Podziękowania

Praca została wykonana w ramach Grantu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr 5 T07A 03225

and amounts to 93.6% (A-P) and 89.3% (M-L).

Discussion

The results of the experiments have shown a marked effect of the mechanical stimulation (in the form of cyclically repeated axial displacements of the bone fragments) of the bone regenerate on its remodelling rate and biological quality. The biggest improvement in mechanical properties, expressed by the flexural rigidity value, was recorded for measurement group B where cyclic displacements of the bone fragments amounted to 2 mm. This level of mechanical stimulation generates biomechanical conditions ensuring the highest rate of bone tissue formation and differentiation within the regenerate which forms during bone elongation. This is reflected in the histological picture of the regenerates in this test group. The well developed, highly mineralised bone trabeculae and the extensive network of blood vessels with numerous branchings perpendicular to the bone fragments' axis are the evidence of the fast rate of tissue proliferation and differentiation in the regenerate volume. Histological examinations show that in the reference group (where no cyclical displacements of the bone fragments were generated) bone tissue formation in the regenerate proceeded via secondary chondrous ossification. In group B, bone fragments displacements of 2 mm created biomechanical conditions conducive to primary ossification and so to a faster rate of bone tissue regeneration. Biomechanical conditions are understood as a specific state of strain, pressure and fluid flow rates in the particular tissue structures of the bone regenerate [3,4,5]. Such mechanical stimuli are processed at the cellular level into biological stimuli which control the formation and differentiation of tissue structures.

Acknowledgements

This research was possible owing to the collaboration with fellow researchers from the Department of Orthopaedic and Traumatologic Surgery at the Wrocław Medical University. The authors give their special thanks to: Prof. Andrzej Wall, Dr Leszek Morasiewicz and Dr Artur Krawczyk. The presented research funded with the grant from the Ministry of Science and Higher Education No 5 T07A 03225.

Piśmiennictwo

- [1] Augat P, Margevicius K., Simon J., Wolf S., Suger G., Claes L.: Influence of size and stability of the osteotomy gap. *Journal Orthopaedic Research*, 1998, 16, pp. 475-481
- [2] Będziński R., Filipiak J.: Experimental analysis of external fixators for femoral bone elongation. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, Vol.1, No 2, 1999, pp. 93-105
- [3] Doblare M., Garcia J.M., Gomez M.J.: Modelling bone tissue fracture and healing: a review. *Engineering Fracture Mechanics*, 71 (2004), 1809-1840

References

- [4] Filipiak J., Ściagała K.: Displacement of bone fragments as a factor determining bone regenerate formation. *Engineering of Biomaterials*, No. 38-42, 2004, pp. 136-138
- [5] Filipiak J., Mordasiewicz L.: Właściwości biomechaniczne stabilizatora Ilizarowa z hybrydowym układem wszczepów. *Chirurgia Narządu Ruchu i Ortopedia Polska*, 70 (1), 2005, 49-56
- [6] Kuryszko J., Kuropka P., Jędrzejowska I.: Distraction osteogenesis and fracture healing. Differences and similarities. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, Vol. 2, No. 2, 2000, pp. 83 – 88