

Porównawcza analiza klinicznych wyników leczenia złamań plateau piszczeli i badań tomografii komputerowej

Comparative Analysis of Clinical Outcomes of Tibial Plateau Fractures and Computed Tomography Examinations

Krzysztof Piątkowski^{1(A,B,C,D,E,F,G)}, Krzysztof Kwiatkowski^{1(A,D,E,F,G)}, Piotr Piekarczyk^{1(B,G)},
Arkadiusz Zegadło^{2(B,D)}, Rafał Rojkowski^{2(B,D)}

¹ Klinika Traumatologii i Ortopedii, Wojskowy Instytut Medyczny w Warszawie, Polska

² Zakład Radiologii Lekarskiej, Wojskowy Instytut Medyczny w Warszawie, Polska

¹ Department of Traumatology and Orthopaedics, Military Institute of Medicine, Warsaw, Poland

² Division of Radiology, Military Institute of Medicine, Warsaw, Poland

STRESZCZENIE

Wstęp. Celem pracy jest ocena wyników leczenia operacyjnego chorych po złamaniu końca bliższego kości piszczelowej. Na podstawie badania tomografii komputerowej chcemy ustalić, jakie odchylenia wiążą się ze złym funkcjonalnym wynikiem leczenia.

Materiał i metody. W badaniu udział wzięło 13 chorych po leczeniu operacyjnym złamania plateau piszczeli leczonych z użyciem płyt kątoowo-stabilnych. Wykonano u chorych badanie TK w trybie MARS. Oceniano obecność ubytków w warstwie podchrzęstnej, ich powierzchnię oraz głębokość. Wykonano pomiary obniżenia plateau piszczeli oraz jej poszerzenia. Wyniki badania skorelowano z wynikiem klinicznym, dolegliwościami bólowymi w skali VAS, zakresem ruchomości stawu kolanowego oraz wynikami w subiektywnej skali IKDC.

Wyniki. Obecność ubytków zaobserwowano u większości badanych. Na podstawie rekonstrukcji płaszczyznowych możliwa była dokładna ocena obniżenia plateau piszczeli, która ściśle korelowała z zakresem ruchu stawu kolanowego oraz wynikiem subiektywnym w skali IKDC ($p < 0,05$). Zaobserwowano korelację poszerzenia kłykcia bocznego z wynikiem subiektywnym w skali IKDC oraz z dolegliwościami bólowymi notowanymi w skali VAS ($p < 0,05$).

Wnioski. 1. Obniżenie powierzchni stawowej oraz poszerzenie kłykcia bocznego silnie koreluje z osiągniętym wynikiem klinicznym leczenia złamania plateau piszczeli. 2. Obecność i rozległość ubytków kostnych w warstwie podchrzęstnej wiąże się z dolegliwościami bólowymi u chorych, jednak nie ma wpływu na osiągnięty zakres ruchomości stawu kolanowego oraz wynik w skali IKDC. 3. Ocena przebudowy przeszczepów kostnych, mimo zastosowania trybu MARS, jest niemożliwa.

Słowa kluczowe: tomografia komputerowa, złamanie piszczeli, zespolenie złamania, złamanie stawowe, artefakty

SUMMARY

Background. The aim of the study was to evaluate the outcomes of treatment of tibial plateau fractures. Based on CT examination, we set out to determine what factors were associated with a poor functional outcome.

Material and methods. The study involved 13 patients after surgery for tibial plateau fracture by locking plate osteosynthesis. CT studies using a MARS application were performed. The presence of subchondral defects was evaluated, including their area and depth. The reduction and widening of the tibial plateau were measured. The study data were correlated with the clinical outcome: pain according to a VAS scale, knee joint range of motion and the subjective IKDC score.

Results. Bone defects were observed in the majority of patients. On the basis of surface reconstruction, it was possible to accurately evaluate the articular step-off of the tibial plateau, which closely correlated with the range of motion and the subjective IKDC score ($p < 0.05$). A correlation was also observed between widening of the lateral condyle and the IKDC score and pain level in the VAS scale ($p < 0.05$).

Conclusions. 1. Articular step-off and widening of the lateral condyle strongly correlates with the clinical outcome of tibial plateau fracture treatment. 2. The presence and extent of subchondral bone defects in the tibial plateau are related to knee pain in patients but have no effect on the range of motion and the IKDC score. 3. Bone graft remodeling cannot be fully assessed despite the use of MARS in CT imaging.

Key words: computed tomography, tibial fracture, fracture fixation, intra-articular fracture, artifacts

WSTĘP

Powszechnie stosowanym sposobem leczenia złamań plateau piszczeli jest operacyjne nastawienie złamania i stabilizacja wewnętrzna [1-3]. Mimo powszechnej akceptacji tej metody, u części chorych notujemy niezadowalające wyniki leczenia, a więc ograniczenie zakresu ruchomości stawu kolanowego, przewlekłe dolegliwości bólowe oraz rozwój pourazowej choroby zwyrodnieniowej. Jedną z głównych przyczyn tego typu powikłań jest wtórne obniżenie powierzchni stawowej związane z wtórnym przemieszczeniem odłamów złamania [3]. Ponadto obserwuje się częste obrażenia tkanek miękkich – łąkotek oraz więzadeł, które, niezaopatrzone, mogą prowadzić do rozwoju niestabilności stawu [4].

W powyższych przypadkach diagnostyka obrazowa na podstawie radiogramu jest trudna i często niewystarczająca. Choć obrazy klasycznej radiografii (RTG) są podstawowym narzędziem w diagnostyce u chorych po złamaniu plateau piszczeli, to jednak trudno jest ocenić stopień obniżenia powierzchni stawowej oraz wykluczyć obecność ubytków lub ciał wolnych w stawie kolanowym. Badanie ultrasonograficzne (USG), choć bezpieczne i stosunkowo tanie, nie jest przeznaczone do oceny chrząstki stawowej plateau piszczeli. Tak więc u chorych po złamaniu końca bliższego kości piszczelowej panel badań obrazowych jest ograniczony.

Nadzieją diagnostyczną w tych przypadkach są badania Rezonansu Magnetycznego (RM) oraz Tomografii Komputerowej (TK) przy użyciu specjalnych aplikacji do redukcji artefaktów metalicznych (*Metal Artifact Reduction Sequence* – MARS) [5-7]. Badanie MR jest istotnie bezpieczniejsze z uwagi na brak promieniowania jonizującego, jednak nadal postulowane jest pewne ryzyko takiego badania z uwagi na potencjalny efekt termiczny wokół implantu metalowego, co może teoretycznie skutkować jego destabilizacją lub powikłaniami związanymi z oparzeniem tkanek miękkich wokół implantu. Ostatnie doniesienia wskazują na niewielkie ryzyko takich powikłań, jednak ocena struktur położonych w pobliżu implantów jest trudna [5]. Obrazowanie w tomografii komputerowej jest pozbawione efektu termicznego, jednak dawka promieniowania jonizującego w trakcie badania tomograficznego jest istotna. Tryb MARS, który pozwala na ocenę struktur kostnych nawet w bezpośredniej bliskości metalowych implantów, znalazł zastosowanie np. przy ocenie obłuzowań protez stawu biodrowego [8].

Celem pracy jest radiologiczna i kliniczna ocena wyników leczenia operacyjnego chorych po złamaniu końca bliższego kości piszczelowej z zastosowa-

BACKGROUND

Tibial plateau fractures are commonly treated by surgical reduction with internal fixation [1-3]. Even though the method has been widely accepted, some patients show unsatisfactory outcomes such as limited range of knee motion, chronic pain, and post-traumatic arthritis. These complications are mainly caused by secondary articular step-off attributable to secondary bone fragment dislocation [3]. Moreover, there is often associated soft tissue damage within the menisci and ligaments, which, if not treated, may result in joint instability [4].

In these cases, diagnostic work-up based on radiography is difficult and often insufficient. Although standard radiographs (x-rays) are the main diagnostic tool in patients after tibial plateau fractures, it is difficult to assess the degree of articular step-off and rule out the presence of defects or loose bodies in the knee. An ultrasound, while safe and relatively inexpensive, is not useful in the assessment of articular cartilage of the tibial plateau. Consequently, the array of imaging modalities available to patients after tibial plateau fractures is limited.

In these cases, much diagnostic hope is put in magnetic resonance imaging (MRI) and computed tomography (CT) using special metal artifact reduction sequences (MARS) [5-7]. An MRI scan is markedly safer as ionising radiation is not involved; however, the examination is still believed to be connected with a certain risk due to a possible thermal effect around the metal implant, which may theoretically result in its destabilisation or complications connected with soft tissue burns around it. The latest reports suggest a low risk of such complications; however, the assessment of the structures located near the implants is difficult [5]. CT imaging is not associated with thermal effects, but it does involve a considerable ionising radiation dose. MARS CT, which enables the assessment of bone structures even in the immediate vicinity of the metal implant, is used, among others, in the assessment of hip implant loosening [8].

The aim of the study was to evaluate the radiological and clinical outcomes of surgical treatment of tibial plateau fractures with locking plate osteosynthesis. On the basis of the results, we set out to determine what parameters available during a CT scan are associated with a poor functional outcome.

niem płyt kątoowo-stabilnych. Na podstawie otrzymanych wyników chcemy ustalić jakie parametry, które są dostępne podczas badania tomograficznego, wiążą się ze złym wynikiem czynnościowym leczenia.

MATERIAŁ I METODY

Do badania zakwalifikowano 13 chorych ze złamaniami wgnieceniovymi, rozszepiennie – wgnieceniovymi kłycki kości piszczelowych oraz dwukłykciowymi końca bliższego kości piszczelowej (typ 41 B2-B3 oraz 41-C wg AO). Chorzy byli poddani leczeniu operacyjnemu w latach 2011-2013. U chorych stosowano różne typy zespolen płytowych oraz ich różną ilość. Podstawą było użycie płyty przednio-bocznej blokowanej przeznaczonej dla końca bliższego kości piszczelowej. W przypadkach złamań dwukłykciowych stosowano zespolenie z zastosowaniem dwóch (przednio-bocznej oraz przednio-przyśrodkowej) lub trzech płyt (dodatkowej płyty stabilizującej tylną krawędź plateau piszczeli). Rozkład typów złamań i czasu jaki upłynął od leczenia operacyjnego ujęto w Tabeli 1.

Kryterium włączenia do badania były objawy wymagające poszerzenia diagnostyki obrazowej. U chorych na podstawie badania klinicznego rozpoznano dolegliwości bólowe oraz ograniczenie zakresu ruchomości stawu kolanowego. Na podstawie badań klasycznej radiografii podejrzewano wtórne przemieszczenie się fragmentów stawowych złamania. Wykonano łącznie 13 badań tomografii komputerowej. Badania wykonywano w skanerze 64-rzędowym firmy GE, model Discovery 750HD. Badanie wykonywano

MATERIAL AND METHODS

The study enrolled of 13 patients with depression and split-depression fractures of the tibial condyles as well as bicondylar tibial plateau fractures (type 41-B2-B3 and 41-C according to the AO classification). The patients were treated surgically between 2011 and 2013. Various types and extent of plate fixation were used. The treatment was generally based on the use of an anterolateral locked plate for the tibial plateau. In cases of bicondylar fractures, the fixation involved two (anterolateral or anteromedial) or three plates (with an additional plate stabilising the posterior edge of the tibial plateau). Fracture types and the time from surgery are presented in Table 1.

The study's inclusion criterion was the presence of symptoms requiring additional diagnostic imaging. On the basis of a clinical examination, the patients were diagnosed with pain and a limited range of motion in the knee. Standard radiography findings raised the suspicion of secondary dislocation of fracture fragments. In total, 13 CT scans were performed with the use of a 64-slice Discovery 750HD scanner (GE). The spiral technique was employed with variable tube voltages between 70 and 120 keV (Fig. 1). The slice thickness was 0.625 mm. The examination used spectral imaging (GSI) with MARS (Fig. 2).

Tab. 1. Typy złamań oraz sposób zespolenia w grupie badanej

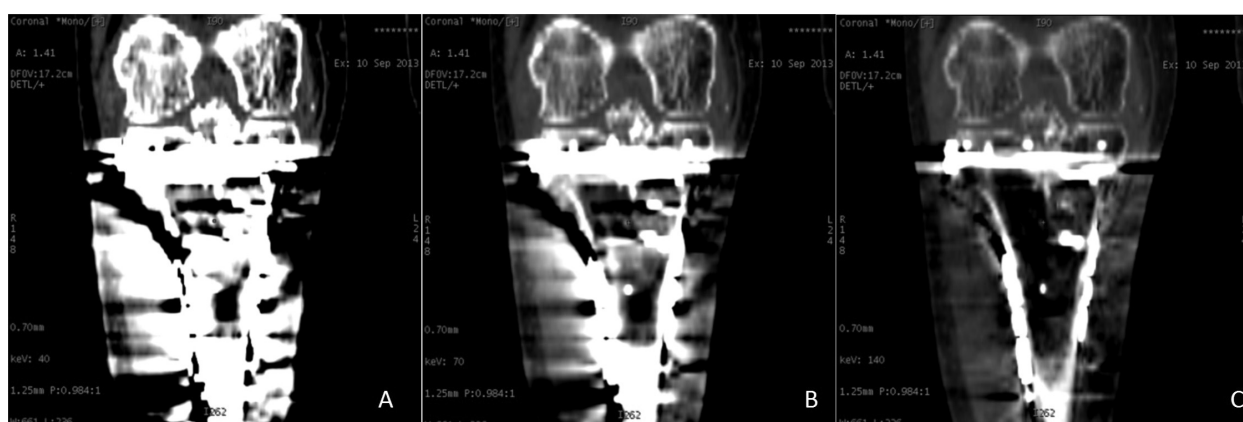
Tab. 1. Types of fractures and the method of osteosynthesis in the study group

Inicjały Initials	Wiek Age	Płeć Sex	Czas od operacji (m-ce) Time from surgery (months)	Typ złamania wg AO AO fracture type	Sposób zespolenia Fixation method	Użycie przeszczepów kostnych Use of bone grafts
SM	52	K/F	5	C3	3 płyty/3 plates	TAK/YES
CA	48	M	5	C3	1 płyta i śruba/ 1 plate and screw	TAK/YES
JM	45	M	6	B3 + trzon/diaphysis	1 płyta/1 plate	TAK/YES
GG	73	K/F	7	B2	1 płyta/1 plate	TAK/YES
ST	42	M	7	B3	1 płyta/1 plate	TAK/YES
GM	55	K/F	11	C3	2 płyty/2 plates	Chronos
ME	54	K/F	17	C3	3 płyty/3 plates	TAK/YES
PKM	63	K/F	17	B3	1 płyta/1 plate	TAK/YES
WJ	59	K/F	22	B3	1 płyta/1 plate	TAK/YES
NP	47	M	23	C3	2 płyty/2 plates	TAK/YES
TJ	40	M	29	C3	3 płyty/3 plates	NIE/NO
SJ	40	M	30	B3	1 płyta/1 plate	NIE/NO
RO	60	K/F	37	C3	3 płyty/3 plates	TAK/YES

techniką spiralną wykorzystując zmienne napięcie lampy w zakresie 70-120keV (Ryc. 1). Grubość warstwy 0,625mm. W badaniu wykorzystano obrazowanie spektralne (GSI) w trybie MARS (Ryc. 2).

Na podstawie rekonstrukcji płaszczyznowych (MPR – *Multi Planar Reconstruction*) oceniano region plateau piszczeli oraz strukturę kostną końca bliższego kości piszczelowej. Na podstawie obrazów 2D oceniano miejsce położenia przeszczepów kostnych użytych podczas leczenia operacyjnego. Notowano obecność ubytków kłykcia piszczeli, ich rozległość oraz głębokość. Rozmiar ubytku obliczano zliczając jego powierzchnię w cm^2 2 mm poniżej warstwy podchrzęstnej plateau piszczeli (Powierzchnia Ubytku – PU), jego wymiar pionowy w milimetrach w najgłębszym miejscu (Głębokość Ubytku – GU).

Multiplanar reconstruction (MPR) was used to assess the area and bone structure of the tibial plateau. 2D images served to evaluate the location of the bone grafts placed during surgery. The presence of any subchondral defects in the tibial condyle, including their area and depth, was noted. The size of a defect was calculated using the defect area in cm^2 2 mm below the subchondral tibial plateau layer (PU) and its depth in mm measured at the deepest spot (GU). The presence of a defect was recorded only if it was not covered by the subchondral layer of the bone. The tibial plateau area in cm^2 (PP) and the tibial plateau width in cm (SP) were assessed in detail. Possible widening of the tibial plateau was evaluated by measuring the width of the condyle in the horizontal plane not covered by the edge of the femoral condyle



Ryc. 1a-c. Badanie z zastosowaniem techniki obrazowania dwuenergetycznego GSI w skanerze Discovery 750HD. Przykładowe rekonstrukcje czołowe wykonane na różnym poziomie energetycznym: 40keV (1a), 70keV (1b) 140keV (1c)

Fig. 1a-c. An examination using dual energetic GSI imaging techniques in the Discovery 750HD scanner. Sample frontal reconstructions at different energy levels: 40keV (1a), 70keV (1b) 140keV (1c)



Ryc. 2a-c. Badanie z zastosowaniem techniki obrazowania dwuenergetycznego GSI w skanerze Discovery 750HD. Przykładowe rekonstrukcje czołowe wykonane na różnym poziomie energetycznym 40keV (2a), 80keV (2b) 140keV (2c) z zastosowaniem techniki MARS

Fig. 2a-c. An examination using dual energetic GSI imaging techniques in the Discovery 750HD scanner. Sample frontal reconstructions at different energy levels: 40keV (2a), 80keV (2b) 140keV (2c) using MARS technique.

Obecność ubytku notowano tylko w przypadkach braku jego „pokrycia” przez warstwę podchrzęstną kości. Dokładnej ocenie poddano wymiar plateau piszczeli – powierzchnię w cm² (Powierzchnia Plateau – PP) oraz szerokość plateau w cm (Szerokość Plateau – SP). Potencjalne poszerzenie plateau piszczeli oceniano notując szerokość kłykcia w płaszczyźnie horyzontalnej niepokrytego przez brzeg kłykcia kości udowej (Poszerzenie Kłykcia – PK). Oceniono szerokość szpary stawowej w mm, licząc odległość od warstw podchrzęstnych kości w największym punkcie przedziału bocznego i przyśrodkowego stawu kolanowego (Szerokość Szpary Boczna – SSB) oraz (Szerokość Szpary Przyśrodkowa – SSP). Obniżenie kłykcia bocznego obliczono w mm odnosząc się do wysokości kłykcia przyśrodkowego (Obniżenie Kłykcia Boczno – OKB). W sytuacji, gdy powierzchnia kłykcia bocznego znajdowała się poniżej poziomu kłykcia przyśrodkowego wyniki był notowany jako ujemny.

Wyniki otrzymane na podstawie badania skorelowano z wynikiem klinicznym oraz czynnościowym. W dniu wykonania badania tomografii, u chorych oceniono zakres ruchomości stawu kolanowego. Dolegliwości bólowe oceniono na podstawie skali VAS (Visual Analog Score). Chorzy wypełnili w obecności badacza ankietę na podstawie subiektywnej oceny stawu kolanowego IKDC (International Knee Documentation Committee). Obliczenia statystyczne wykonano za pomocą programu MS Excel.

WYNIKI

Średni czas obserwacji wyniósł 1 rok i 5 miesięcy od leczenia operacyjnego. W badanej grupie najczęściej dochodziło do złamań dwukłykciowych typu wgnieceniowo-rozszczepiennego (C3 wg AO). Osiągnięto średni zakres ruchomości stawu kolanowego 0-116 stopni, średni wynik w skali IKDC wyniósł 60,1 pkt. Dolegliwości bólowe zgłosiło 5 z 13 chorych, tylko u dwóch chorych dolegliwości w skali VAS były ocenione na ponad 2 punkty w 10-punktowej skali. Podsumowanie wyników badania zamieszczono w Tabeli 2.

Obecność ubytków w warstwie podchrzęstnej plateau piszczeli obserwowano u większości chorych (11 z 13 chorych), niezależnie od typu złamania. Wielkość i głębokość ubytku nie korelowały z wynikiem klinicznym i czynnościowym. Ubytki te najczęściej były wypełnione tkanką o gęstości podobnej do chrząstki (Ryc. 3b), w jednym przypadku wewnątrz ubytku stwierdzono obecność gazu (Ryc. 4a, b). Ocena przebudowy przeszczepów kostnych leżących w bezpośrednim sąsiedztwie implantów w badaniach TK była niemiernodajna. Bezpośred-

(PK). The joint space width was measured in mm as the space above the subchondral bone layers at the narrowest point of the lateral and medial knee compartment (SSB and SSP, respectively). The articular step-off of the lateral condyle was measured in mm relative to the medial condyle (OKB). If the surface of the lateral condyle was below the level of the medial condyle, a negative value was recorded.

The results were correlated with the clinical and functional outcomes. On the day the CT scan was conducted, the range of knee motion was also evaluated in the patients. Pain was assessed with a VAS scale (Visual Analog Scale). The patients completed questionnaires (in the researcher's presence) based on the subjective IKDC (International Knee Documentation Committee) scale. Statistical analysis was carried out with MS Excel.

RESULTS

The mean follow-up time was 1 year and 5 months from the surgery. In the study group, the majority of fractures were bicondylar split-depression fractures (type C3 according to the AO classification). The mean range of knee mobility reached 0-116 degrees and the average IKDC score was 60.1 points. Pain was reported by 5 out of 13 patients; only 2 patients assessed the pain as over 2 points on a 10-point VAS scale. The study results are presented in Table 2.

The presence of bone defects in the subchondral layer of tibial plateau was found in the majority of the patients (11 out of 13 patients), irrespective of the fracture type. The area and depth of the defect did not correlate with the clinical and functional outcome. These defects were usually filled with tissue of density similar to that of cartilage (Fig. 3b). In one case, gas was found in a defect (Fig. 4a,b). The assessment of bone graft remodeling in the immediate vicinity of the implants on CT scans was unreliable. The immediate vicinity of screws in this area does not allow for a detailed metric assessment of the tissues (Fig. 3b).

nie sąsiedztwo śrub nie pozwala na szczegółową ocenę metryczną tkanek w tej okolicy (Ryc. 3b).

Na podstawie analizy statystycznej wyników badania stwierdzono zależność pomiędzy obniżeniem powierzchni stawowej kłykcia bocznego (OKB) a zakresem ruchomości stawu kolanowego oraz wynikiem

Statistical analysis of the results revealed a correlation between the articular step-off of the lateral condyle (OKB) and the range of knee motion as well as the subjective IKDC score. Considerable widening of the tibial condyle (PK) was found more often in bicondylar fractures (type C according to the AO

Tab. 2. Wyniki badania

Tab. 2. Results of study

Inicjały Initials	Czas Time	Typ Type	Ból Pain	Wyprost Extension	Zgięcie Flexion	IKDC	OKB	SSP	SSB	PP	SP	PK	PU	GU
SM	5	C3	1	0	90	50.6	-1	0.3	0.45	28.9	6.8	0.15	0.3	0.15
CA	5	C3	0	0	100	63.2	-3	0.4	0.7	41.9	8.75	0.6	0	0
JM	6	B3, trzon/ diaphysis	0	0	120	65.5	1	0.4	0.4	42.2	8	0	1.3	0.6
GG	7	B2	0	0	140	64.4	2	0.35	0.3	31.1	7.6	0.2	2	0.05
ST	7	B3	0	0	130	73.6	-1	0.3	0.55	34.8	7.6	0.4	1	0.35
GM	11	C3	0	0	120	52	0	0.2	0.3	32.8	7.2	0.65	0.7	0.35
ME	17	C3	0	0	95	58.6	-2	0.25	0.2	33.8	7	0	2	0.45
PKM	17	B3	0	0	140	72.4	0	0.3	0.4	34.8	7.7	0.5	2.2	0.7
WJ	22	B3	1	-10	110	52.9	-5	0.3	0.85	32.7	7.2	0.5	4.2	0.45
NP	23	C3	0	0	130	63.2	1	0.5	0.5	44.6	8.7	0	0	0
TJ	29	C3	4	0	100	46	-2	0.45	0.3	40.4	8.5	0.3	2.8	0.3
SJ	30	B3	1	0	130	86.2	2	0.3	0.25	39.4	8	0	1.7	0.5
RO	37	C3	8	0	110	33.3	-3	0.35	0.35	36.8	8.2	1.1	3.5	0.5
Średnio Mean	16				116	60.1	-1	0.35	0.43	36.5	7.8	0.3	1.7	0.3

Legenda:

Czas – liczba miesięcy od leczenia operacyjnego.

Typ – typ złamania wg klasyfikacji wg AO.

Ból – Ocena subiektywna dolegliwości bólowych w skali VAS.

Wyprost – Zakres ruchu wyprostu stawu kolanowego.

Zgięcie – Zakres ruchu zgięcia stawu kolanowego.

IKDC – Wynik subiektywnej oceny w skali IKDC.

OKB – Obniżenie kłykcia bocznego w mm (wartości ujemne to obniżenie poniżej poziomu kłykcia przyśrodkowego).

SSP – Szerokość szpary stawowej w najwęższym miejscu przedziału przyśrodkowego w cm.

SSB – Szerokość szpary stawowej w najwęższym miejscu przedziału bocznego w cm.

PP – Powierzchnia plateau piszczeli w cm².

SP – Szerokość plateau piszczeli w najszerszym miejscu w cm.

PK – Poszerzenie kłykcia piszczeli w płaszczyźnie horyzontalnej nie pokrytego przez kłykieć kości udowej w cm.

PU – Powierzchnia ubytku plateau piszczeli w cm².

GU – Głębokość ubytku plateau piszczeli w cm.

Legend:

Czas – time from surgery (months)

Typ – type of fracture according to the AO classification

Ból – subjective assessment of the pain based on the VAS scale

Wyprost – range of extension in the knee

Zgięcie – range of flexion in the knee

IKDC – subjective evaluation score according to IKDC scale

OKB – articular step-off of the lateral condyle in mm (a negative value is a decrease below the level of the medial condyle)

SSP – joint space width at narrowest point of medial compartment in cm

SSB – the joint space width at narrowest point of lateral compartment in cm

PP – tibial plateau area in cm²

SP – tibial plateau width at widest point in cm

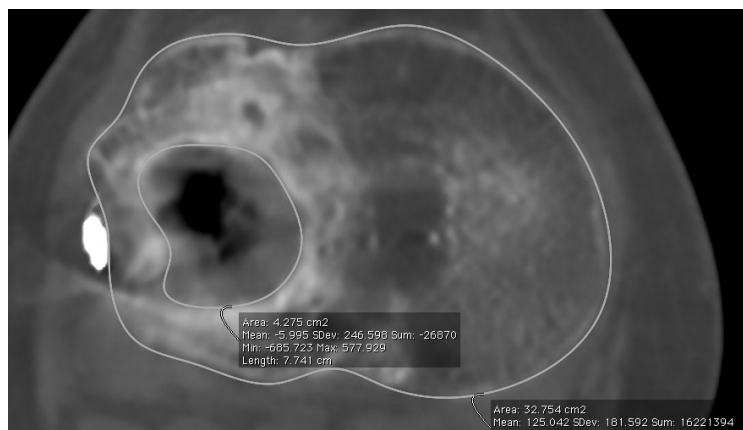
PK – widening of tibial condyle in horizontal plane in cm

PU – tibial plateau defect area in cm²

GU – tibial plateau defect depth in cm

subiektywnym w skali IKDC. Istotne wartości poszerzenia kłykcia (PK) obserwowano częściej w przypadku złamań dwukłykciowych (typ C wg AO). Stwierdzono zależność pomiędzy rozmiarem poszerzenia kłykcia (PK) a wynikiem w skali IKDC, jednak nie stwierdzono korelacji z osiągniętym zakresem ruchu stawu kolanowego. Wartości poszerzenia kłykcia (PK)

classification). We found a correlation between the widening of the tibial condyle (PK) and the IKDC score; however, there was no correlation with the range of knee motion. The values of tibial condyle widening (PK) and tibial plateau defect area (PU) were higher in those study participants who reported knee pain. The relation between the clinical outcomes



Ryc. 3a,b. Obrazy MPR tomografii komputerowej w trybie MARS u chorej 22 miesiące od leczenia operacyjnego złamania plateau piszczeli typu B3 wg AO. Z uwagi na dolegliwości bólowe, chora przeżyła artroskopię stawu kolanowego po 12 miesiącach od złamania. Widoczny głęboki ubytek powierzchni kłykcia bocznego kości piszczelowej. Powierzchnia ubytku (PU) wynosi 4,28 cm², jego głębokość (GU) wyniósł 4,6 mm

Fig. 3a,b. MPR CT images in the MARS mode, in a female patient, 22 months after the surgery of AO type B3 tibial plateau fracture. Because of the pain, the patient underwent arthroscopy of the knee 12 months after the fracture. A deep defect of the surface of the lateral tibial condyle is visible. The defect has an area of 4.28 cm² and depth of 4.6 mm



Ryc. 4a-b. (a) Badanie radiologiczne w projekcji AP. Widoczne nieznaczne poszerzenie kłykcia bocznego, prawidłowa wysokość powierzchni kłykcia bocznego. (b) Badanie GSI-TK w trybie MARS. Na obrazie 2D MPR w płaszczyźnie czołowej widoczny ubytek w warstwie podchrzęstnej. Z uwagi na artefakty metaliczne na wysokości śrub ocena struktury kostnej w okolicy posadowienia przeszczepów kostnych – niemożliwa

Fig. 4a,b. (a) AP radiograph. Slight widening of the lateral condyle is visible, with a normal height of the lateral condyle. (b) GSI-CT examination in the MARS mode. A 2D MPR image in the frontal plane reveals a defect in the subchondral layer. Due to metallic artifacts, assessment of the bone structure around the foundation of the bone grafts is impossible at the level of the screws

Tab. 3. Istotność statystyczna zależności pomiędzy wynikiem klinicznym oraz wynikiem radiologicznym na podstawie badania tomografii komputerowej

Tab. 3. Statistical significance of correlation between clinical outcome and radiological results based on CT examination

Poziom istotności p Significance level p	OKB	PK	PU	GU
Zakres ruchomości stawu kolanowego Knee range of motion	<0.05	0.745	0.721	0.672
Wynik w skali subiektywnej IKDC Subjective IKDC score	<0.05	<0.05	0.241	0.745
Ból w skali VAS Pain according to VAS	0.164	<0.05	0.052	0.534

Legenda:

OKB – Obniżenie kłykcia bocznego w mm (wartości ujemne to obniżenie poniżej poziomu kłykcia przyśrodkowego).

PK – Poszerzenie kłykcia piszczeli w płaszczyźnie horyzontalnej nie pokrytego przez kłykiec kości udowej w cm.

PU – Powierzchnia ubytku plateau piszczeli w cm².

GU – Głębokość ubytku plateau piszczeli w cm.

Legend:

OKB – articular step-off of lateral condyle in mm (a negative value is a decrease below the level of the medial condyle)

PK – widening of tibial condyle in horizontal plane in cm

PU – tibial plateau defect area in cm²

GU – tibial plateau defect depth in cm

oraz powierzchni ubytku (PU) były większe u chorych, którzy zgłaszali dolegliwości bólowe stawu kolanowego. Zależność pomiędzy wynikami klinicznymi (zakres ruchu stawu kolanowego, wynik w skali IKDC, dolegliwości bólowe) i wybranymi parametrami radiologicznymi przedstawiono w Tabeli 3.

DYSKUSJA

Obrazowanie spektralne w trybie MARS pozwala na dokładniejsze obrazowanie tkanek wokół implantów metalowych. Ponadto dowiedziono, że dawka promieniowania w trakcie badania GSI-MARS nie jest wyższa, niż w przypadku konwencjonalnej tomografii [9]. Należy jednak pamiętać, że największą potencjalną korzyść ze stosowania obrazowania GSI-MARS otrzymamy w przypadku dużych implantów stalowych (płyta). W przypadku śrub tytanowych wynik badania może wiązać się z wystąpieniem podobnej ilości artefaktów jak w badaniu konwencjonalnej tomografii komputerowej [9,10]. Tak więc ortopeda zlecający badanie powinien określić na skierowaniu jaki typ zespolenia zastosowano, aby radiolog mógł wybrać najbardziej odpowiednią metodę badania.

Z uwagi na fakt istotnej dawki promieniowania, wskazanie do badania tomografii komputerowej u pacjentów powinno być ściśle określone. W przypadku chorych po złamaniu plateau piszczeli brak jest wytycznych w tym zakresie. Muskonen i wsp. w 2009 r. analizowali 36 badań tomografii komputerowej u chorych po operacyjnym leczeniu złamań końca bliższego kości piszczelowej z podobnym czasem obserwacji oraz podobnym rozkładem typów złamań. Autorzy

(range of knee motion, IKDC score, pain) and selected radiographic parameters is presented in Table 3.

DISCUSSION

Spectral imaging with MARS allows for obtaining more detailed images of the tissues around metal implants. Moreover, it has been proven that the radiation dose during a GSI-MARS examination is not higher than in the case of standard CT studies [9]. However, one should remember that GSI-MARS imaging has the greatest potential benefits in patients with large steel implants (plate). In the case of titanium screws, the examination may show a similar number of artifacts as standard CT [9,10]. Consequently, the orthopaedist referring the patient for the examination should include the information about the fixation type on the referral form so that the radiologist may select the most appropriate examination technique.

Due to the considerable radiation dose, the indication for a CT scan should be strictly defined. There are no guidelines concerning this issue in the case of patients after tibial plateau fractures. In 2009, Muskonen et al. analysed 36 CT scans in patients after surgical treatment of tibial plateau fractures with similar follow-up periods and fracture types. The authors assessed the articular step-off (based on surface reconstruction), the presence of ossifications, and signs of bone union disturbances. They showed that in 29 out of the 36 cases (81%), CT scans revealed

oceniali na podstawie rekonstrukcji płaszczyznowych obniżenie powierzchni stawowej, obecność skostnień oraz cech zaburzeń zrostu kostnego. Wykazano, że w 29 z 36 przypadków (81%) badanie tomografii komputerowej dostarczyło istotnych klinicznie informacji dla procesu leczenia, co potwierdza zasadność wykonania tego typu badania w przypadku wątpliwości klinicznych [11].

Obecność ubytków plateau piszczeli stwierdzono w większości (85%) przypadków, jednak otrzymane wyniki wskazują na brak korelacji pomiędzy wielkością powierzchni ubytku oraz jego głębokością z wynikiem klinicznym. Wiąże się to najpewniej z faktem, że grupa badana była heterogenna pod względem wieku, typu złamania oraz metody zespolenia. Ponadto badanie tomografii komputerowej wykonywano w różnym czasie od leczenia operacyjnego (od 5 do 37 miesięcy). W przypadkach wczesnych obserwacji złamań czysto wgnieciowych (typ B2 wg AO), gdzie głównym celem leczenia jest odtworzenie powierzchni stawowej, ubytek może odzwierciedlać strefę posadowienia nieprzebudowanych przeszczepów kostnych. W przypadkach złamań rozszczepienno-wgnieciowych jedno i dwukłykciowych (typ B3 oraz C wg AO) ubytki plateau piszczeli, szczególnie w sytuacji nadmiernego poszerzenia kłykci, mogą odzwierciedlać niezadowalające nastawienie i brak kompresji odcłamów z pozostawieniem „szczelin” w powierzchni plateau piszczeli.

W przypadkach złamań kłykcia bocznego typu B2-B3 wg AO, istotnym wskaźnikiem niezadowalającego wyniku leczenia wydaje się być obniżenie powierzchni kłykcia bocznego. Dane z piśmiennictwa wskazują, że obniżenie ponad 2 mm może wiązać się z gorszym wynikiem klinicznym, a w dłuższej perspektywie jest to czynnik prognostyczny rozwoju pourazowej choroby zwyrodnieniowej stawu kolanego [12,13]. W naszym badaniu wielkość obniżenia koreluje z wynikiem klinicznym i subiektywnym ($p < 0,05$). W przypadkach, gdy obniżeniu powierzchni stawowej kłykcia bocznego towarzyszy koślawe zaburzenie osi kończyny opcją terapeutyczną może być wykonanie osteotomii celem zniesienia powstałej deformacji [14]. Kwalifikacja do takiego leczenia musi być podjęta ostrożnie, w tych przypadkach wydaje się, że dokładna ocena plateau piszczeli jest konieczna, aby prawidłowo zaplanować leczenie operacyjne.

W przypadkach złamań dwukłykciowych (typu C wg AO) wykonywano operację otwartego nastawienia i stabilizacji dwoma płytami z dwóch dostępów: przednio-bocznego oraz przyśrodkowego. Takie postępowanie jest szczególnie zalecane, gdy przemieszczenie wynosi ponad 2 mm [15,16]. W tych przypadkach radiologiczna ocena pooperacyjna oraz odległa

information clinically important for the treatment, which confirms the advisability of conducting this examination in cases of clinical doubt [11].

Tibial plateau defects were revealed in the majority (85%) of the cases. However, the results indicate that there is no correlation between the area and depth of a defect and the clinical outcome. This is probably attributable to the fact that the study group was heterogeneous in terms of age, fracture type, and fixation method. Moreover, the time between surgery and CT varied (5-37 months). In early follow-up examinations in the patients with depression fractures (type B2 according to the AO classification), where the main aim of the treatment is to restore the articular surface, a defect may reflect the location of the bone grafts which have not been remodelled. In split-depression unicondylar and bicondylar fractures (type B3 and C according to the AO classification), especially in cases of excessive condylar widening, tibial plateau defects may reflect insufficient fixation and the lack of compression of the fragments with the presence of “cracks” in the tibial plateau surface.

In lateral condyle fractures of type B2-B3 (according to the AO classification), an important indicator of an unsatisfactory treatment outcome may consist in articular step-off of the lateral condyle. The literature indicates that a step-off exceeding 2 mm may be associated with worse clinical outcomes. In the long-term, it is a prognostic factor for post-traumatic knee arthritis [12,13]. In our study, the extent of articular step-off correlated with clinical and subjective outcomes ($p < 0.05$). When the articular step-off of the lateral condyle is accompanied by valgus limb axis alignment, osteotomy aimed at eliminating the deformation may be considered as a therapeutic option [14]. Patients should be qualified for this kind of treatment with caution. In these cases, detailed evaluation of the tibial plateau appears necessary for appropriate surgical treatment planning.

In patients with bicondylar fractures (type C according to the AO classification), surgery involved open reduction and stabilisation with two plates from two approaches (anterolateral and medial). This method is particularly indicated in fractures with dislocation exceeding 2 mm [15,16]. In these cases, radiographic post-operative assessment and long-term prognosis of the treatment outcome are difficult. Estimating the articular step-off is less reliable as there is no appropriate point of reference. Moreover, the assessment of the articular surface on standard radiographs is difficult due to the quantity of the fixing material present. Our study showed that widening of the lateral condyle occurs more often in bicondylar fractures. We found worse IKDC scores ($p < 0.05$) and greater

ocena wyniku leczenia jest utrudniona. Oszacowanie obniżenia powierzchni stawowej jest mniej miarodajne z uwagi na brak prawidłowego punktu odniesienia. Ponadto ocena powierzchni stawowej na typowych radiogramach jest trudna z uwagi na ilość materiału zespalającego. Nasze badanie wykazało częstsze występowanie poszerzenia kłykcia bocznego w przypadkach złamań dwukłykciowych. W tych przypadkach obserwowaliśmy gorszy wynik w skali IKDC ($p<0,05$) oraz większe natężenie dolegliwości bólowych ($p<0,05$), poszerzenie kłykcia nie miało jednak wpływu na zakres ruchomości stawu kolanowego.

WNIOSKI

1. Obniżenie powierzchni stawowej oraz poszerzenie kłykcia bocznego silnie korelują z osiągniętym wynikiem klinicznym leczenia złamania plateau piszczeli.
2. Obecność i rozległość ubytków kostnych w warstwie podchrzęstnej ma związek z dolegliwościami bólowymi u chorych, jednak nie ma wpływu na osiągnięty zakres ruchomości stawu kolanowego oraz wynik w skali IKDC. Różny czas jaki upłynął od leczenia operacyjnego do badania kontrolnego, może mieć wpływ na porównywane elementy.
3. Ocena przebudowy przeszczepów kostnych jest na podstawie badania GSI-TK w trybie MARS niemożliwa z uwagi na bezpośrednią bliskość implantów metalowych.

pain severity ($p<0.05$) in these cases; however, the widening of the lateral condyle did not influence the range of knee motion.

CONCLUSIONS

1. Articular step-off and widening of the lateral condyle correlate strongly with the clinical outcome of tibial plateau fracture treatment.
2. The presence and extent of subchondral bone defects are related to knee pain in patients but have no effect on the range of knee motion and the IKDC score. The length of time elapsing between surgery and follow-up examinations may influence the compared parameters.
3. Bone graft remodeling cannot be fully assessed with GSI-CT using MARS due to the immediate vicinity of metal implants.

PIŚMIENNICTWO / REFERENCES

1. Schatzker J, McBroom R, Bruce D. The tibial plateau fracture: the Toronto experience 1968-1975. Clin Orthop 1979; 138: 94-104.
2. Biggi F, Di Fabio S, D'Antimo C, Trevisani S. Tibial plateau fractures: internal fixation with locking plates and the MIPO technique. Injury 2010; 41(11): 1178-82.
3. Urruela AM, Davidovitch R, Karia R, Khurana S, Egol KA. Results following operative treatment of tibial plateau fractures. J Knee Surg 2013; 26(3): 161-5.
4. Zhang Y, Fan DG, Ma BA, Sun SG. Treatment of complicated tibial plateau fractures with dual plating via a 2-incision technique. Orthopedics 2012; 35(3): 359-64.
5. Kumar R, Lerski RA, Gandy S, Clift BA, Abboud RJ. Safety of orthopedic implants in magnetic resonance imaging: an experimental verification. J Orthop Res 2006; 24(9): 1799-802.
6. Lee MJ, Kim S, Lee SA, et al. Overcoming artifacts from metallic orthopedic implants at high-field-strength MR imaging and multi-detector CT. Radiographics 2007; 27: 791-803.
7. Chen CA, Chen W, Goodman SB, et al. New MR imaging methods for metallic implants in the knee: artifact correction and clinical impact. J Magn Reson Imaging 2011; 33(5): 1121-7.
8. Kochman A, Morawska-Kochman M, Guziński M, Drobniewski M, Sibiński M, Synder M. Computed Tomography in Evaluation of Revision Hip Arthroplasty Outcomes. Ortop Traumatol Rehabil 2014; 16(5): 469-76.
9. Lee YH, Park KK, Song HT, Kim S, Suh JS. Metal artefact reduction in gemstone spectral imaging dual-energy CT with and without metal artefact reduction software. Eur Radiol 2012; 22(6): 1331-40.
10. Haramati N, Staron RB, Mazel-Sperling K, et al. CT scans through metal scanning technique versus hardware composition. Comput Med Imaging Graph 1994; 18: 429-34.
11. Mustonen AO, Koivikko MP, Kiuru MJ, Salo J, Koskinen SK. Postoperative MDCT of tibial plateau fractures. AJR Am J Roentgenol 2009; 193(5): 1354-60.
12. Parkkinen M1, Madanat R, Mustonen A, Koskinen SK, Paavola M, Lindahl J. Factors predicting the development of early osteoarthritis following lateral tibial plateau fractures Mid-term clinical and radiographic outcomes of 73 operatively treated patients. Scand J Surg 2014 Apr 15. [Epub ahead of print]

13. Giannoudis PV, Tzioupis C, Papathanassopoulos A, Obakponovwe O, Roberts C. Articular step-off and risk of post-traumatic osteoarthritis. Evidence today. *Injury* 2010; 41(10): 986-95.
14. Marti RK, Kerkhoffs GM, Rademakers MV. Correction of lateral tibial plateau depression and valgus malunion of the proximal tibia. *Oper Orthop Traumatol* 2007; 1: 101-13.
15. Weaver MJ, Harris MB, Strom AC, et al. Fracture pattern and fixation type related to loss of reduction in bicondylar tibial plateau fractures. *Injury* 2012; 43(6): 864-9.
16. Pun TB, Krishnamoorthy VP, Poonnoose PM, Oommen AT, Korula RJ. Outcome of Schatzker type V and VI tibial plateau fractures. *Indian J Orthop* 2014; 48(1): 35-41.

Źródło finansowania: Artykuł powstał w ramach badań naukowych finansowanych ze środków MON No. 16/WNiI/2007.

Funds statement: The publication was prepared within the framework of the research program of Ministry of Defence No. 16/WNiI/2007

Liczba słów/Word count: 5012

Tabele/Tables: 3

Ryciny/Figures: 4

Piśmiennictwo/References: 16

Adres do korespondencji / Address for correspondence

Krzysztof Piątkowski

*Klinika Traumatologii i Ortopedii Wojskowy Instytut Medyczny ul. Szaserów 128,
04-141 Warszawa 44, tel. 022/6816514, fax 022/8102166, e-mail: krzpia@gmail.com*

Otrzymano / Received

26.11.2014 r.

Zaakceptowano / Accepted

06.02.2015 r.

