

# Nietypowy sposób jednoczesnej repozycji złamania zęba obrotnika z dostępu przez tylną ścianę gardła oraz bezpośredniego zespolenia złamania śrubą dociskową z dostępu podżuchwowego

## Unorthodox Technique of Simultaneous Reposition of an Odontoid Process Fracture from a Posterior Pharyngeal Wall Approach and Direct Screw Fixation from a Submandibular Approach

Bartosz Godlewski<sup>(B,C,D,E,F)</sup>, Maciej Radek<sup>(B,C,D,E,F)</sup>, Andrzej Radek<sup>(B,C,D,E,F)</sup>

Klinika Neurochirurgii i Chirurgii Nerwów Obwodowych  
Uniwersytecki Szpital Kliniczny nr 2 im. Wojskowej Akademii Medycznej, Łódź  
Uniwersytet Medyczny, Łódź  
Department of Neurosurgery and Peripheral Nerve Surgery  
Military Medical University Memorial University Teaching Hospital No. 2, Łódź  
Medical University, Łódź

### STRESZCZENIE

Autorzy przedstawiają przypadek nietypowego sposobu zespolenia złamania zęba obrotnika przy pomocy śruby. Wykonano jednoczesną repozycję złamania zęba obrotnika z dostępu przez tylną ścianę gardła oraz bezpośrednie zespolenie złamania śrubą z dojscia podżuchwowego.

Pacjent 53 letni doznał urazu kręgosłupa szyjnego. Na podstawie badań RTG i CT rozpoznano złamanie zęba obrotnika typu II według klasyfikacji Anderson i D'Alonzo. W badaniu neurologicznym bez deficytów. Z powodu dużego przemieszczenia złamanego fragmentu w kierunku rdzenia kręgowego początkowo zdecydowano się na usunięcie złamanego fragmentu i odbarczenie rdzenia kręgowego z dojscia przez tylną ścianę gardła. W tym przypadku pacjenta czekałby kolejny zabieg stabilizacji czaszkowo-kręgosłupowej z dostępu tylnego, który spowodowałby ograniczenie ruchomości odcinka szyjnego kręgosłupa. Dodatkowym czynnikiem mającym wpływ na wybraną początkowo technikę operacyjną była ocena radiologiczna wykonana po znieczuleniu pacjenta. Wykazała ona, że przemieszczenia odłamanego fragmentu nie udaje się nastawić poprzez trakcję i manewrowanie ułożeniem głowy mimo farmakologicznego zwiotczenia mięśni. Śródoperacyjnie okazało się jednak, że istnieje możliwość repozycji złamania z dojscia przez tylną ścianę gardła. Z tego powodu zdecydowano się jednocześnie po dokonaniu repozycji wykonać zespolenie złamania śrubą z dostępu podżuchwowego.

Bezpośrednie zespolenie złamania zęba obrotnika śrubą pozwoliło uzyskać wyleczenie oraz zachowanie prawidłowego zakresu ruchomości kręgosłupa szyjnego.

**Słowa kluczowe:** ząb kręgu obrotowego, zespolenie śrubą, połączenie czaszkowo-kręgosłupowe

### SUMMARY

This paper presents a case of an unorthodox technique of screw fixation of an odontoid process fracture which consisted in simultaneous reposition of an odontoid process fracture from a posterior pharyngeal wall approach and direct screw fixation from a submandibular approach.

A 53-year-old patient sustained an injury to the cervical spine. Radiographs and CT scans revealed an Anderson and D'Alonzo type II fracture of the odontoid process. No neurological deficits were found. Due to a significant degree of dislocation of the fractured fragment towards the spinal cord it was initially decided that the fragment should be removed and the spinal cord decompressed from a posterior pharyngeal wall approach. Such treatment would later require another surgery: craniocervical stabilization from a posterior approach, which would impair the mobility of the cervical spine. The initial choice of surgical technique was additionally influenced by a radiological assessment performed following anesthesia, which revealed that the dislocation of the fractured fragment could not be reduced through traction and maneuvering the bone head even despite drug-induced muscle relaxation. In the course of the surgery, however, it turned out that fracture reposition could be attempted from a posterior pharyngeal approach. Therefore it was decided that a simultaneous screw fixation of the odontoid fracture would be performed from a submandibular approach following reposition.

Direct screw fixation of the odontoid process fracture resulted in a complete recovery and did not impair the mobility range of the cervical spine.

**Key words:** odontoid, screw fixation, craniocervical junction.

Liczba słów/Word count: 3459

Tabele/Tables: 0

Ryciny/Figures: 3

Piśmiennictwo/References: 15

Adres do korespondencji / Address for correspondence

dr n. med. Bartosz Godlewski

Klinika Neurochirurgii i Chirurgii Nerwów Obwodowych, USK nr 2 im. WAM

90-549 Łódź, ul. Zeromskiego 113, tel./fax: (0-42) 639-35-51, e-mail: poczta@bartoszgodlewski.pl

Otrzymano / Received

15.09.2008 r.

Zaakceptowano / Accepted

10.01.2009 r.

## WSTĘP

Złamania zęba obrotnika klasyfikuje się według przebiegu szczeliny złamania. Według ogólnie przyjętej klasyfikacji Anderson i D'Alonzo dzielą się one na trzy typy:

Typ I – złamanie szczytu zęba, szczelina złamania przebiega w 1/3 górnej zęba obrotnika;

Typ II – złamanie podstawy zęba, szczelina złamania przebiega w 1/3 dolnej zęba obrotnika;

Typ III – szczelina złamania przebiega przez trzon kręgu C2 i może obejmować jego wyrostki stawowe [1].

Złamania typu I i III w większości przypadków leczone są przy pomocy unieruchomienia zewnętrznego. Wśród nich metodą z wyboru są aparaty typu Halo. Inne możliwości to unieruchomienie szyi kołnierzem sztywnym lub historyczny już raczej opatrunek gipsowy typu Minerva. Typ II złamań charakteryzuje się natomiast brakiem tendencji do wytwarzania zrostu w unieruchomieniu zewnętrznym. Wynika to między innymi ze specyficznych warunków fizjologicznych panujących w strefie podstawy zęba kręgu obrotowego (mniejszy przekrój, mniejsza ilość kości gąbczastej, gorsze ukrwienie) [2,3,4]. Prawdopodobieństwo niepowodzenia zrostu w złamaniach typu II wzrasta w przypadku złamań starszych, wieku pacjenta powyżej 40 lat oraz nawet niewielkiego przemieszczenia. Złamania starsze niż miesiąc z reguły nie wygoją się w unieruchomieniu zewnętrznym nawet, jeśli są idealnie nastawione. W praktyce klinicznej złamania powyżej 2 tygodni powinny być leczone chirurgicznie. Wśród metod operacyjnych znajduje się grupa szeroko stosowanych zabiegów, prowadzących do zespolenia łuków tylnych C1 i C2 (sposobem Galie, Brookesa i Jenkinsa, różnego typu hakami), rzadziej wykonywane jest zespolenie stawów szczytowo-obrotowych bocznych śrubami z dostępu tylnego. Niepożądanym efektem wszystkich zespolen z dostępu tylnego jest całkowite wyeliminowanie ruchomości między kręgami: szczytowym i obrotowym. Powoduje to ograniczenie zakresu ruchów szyjnego odcinka kręgosłupa. W celu uniknięcia tego trwałego skutku ubocznego w niektórych przypadkach można zastosować bezpośrednie zespolenie złamania podstawy zęba obrotnika przy pomocy śruby. Wielką zaletą stabilizacji z użyciem śruby jest wybiórcze zespolenie złamania. Zespolenie śrubą pozwala zachować rotację osiową między C1-C2, której zakres stanowi połowę całkowitej rotacji głowy na kręgosłupie szyjnym oraz zgięcie i wyprost, które odpowiadają 20% całego zakresu fleksji i ekstensji. Do wad należą bardzo wąskie wskazania, które ograniczają ten typ zespolenia do wybranej grupy złamań zęba obrotnika [5,6,7].

## BACKGROUND

Fractures of the odontoid process are classified on the basis of the course of the fracture line. One of the most widely used classifications is that of Anderson and D'Alonzo, which recognizes three fracture types:

Type I – apical fracture with the fracture line within the top third of the odontoid process;

Type II – fracture through the base of the odontoid process with the fracture line within the bottom third of the odontoid process;

Type III – fracture line passes through the body of C2 and may extend to its articular processes [1].

Type I and III fractures are most commonly managed by external immobilization, with Halo braces being the treatment of choice. Alternatives include immobilization with a tight cervical collar or Minerva casting, which is considered rather obsolete these days. Type II fractures, in turn, are prone to non-union when treated with external immobilization, which is a consequence of specific physiological conditions of the base of the odontoid process (smaller cross-section, less trabecular bone, poorer blood supply) [2,3,4]. The incidence of non-union increases in remote fractures, in patients aged over 40 and in the presence of even minor dislocation. Fractures older than one month will not normally heal in external bracing even following ideal reposition. Clinical practice suggests that fractures more remote than 2 weeks ought to be managed surgically. Applicable surgical techniques include a group of widely administered procedures done to produce fusion of the posterior arcs of C1 and C2 (by Galie, Brookes and Jenkins method or using hooks of different types); a less common treatment method consists in screw fixation of the lateral atlanto-axial joints from a posterior approach. An adverse effect of all fixation procedures utilizing a posterior approach is the complete abolition of mobility between the atlantal and axial vertebra, which, in turn, limits the range of movement of the cervical spine. In some cases, this permanent adverse effect can be avoided by using direct screw fixation of the odontoid base fracture. Screw immobilization is immensely advantageous as it enables selective fixation of the fracture. Screw fixation maintains axial rotation between C1 and C2, which constitutes 50% of the entire range of rotation of the head on the cervical spine, as well as its flexion and extension, which account for 20% of the entire flexion and extension range. The disadvantages of this technique involve a narrow scope of therapeutic indications as it can only be administered in a very selective group of odontoid process fractures [5,6,7].

## OPIS PRZYPADKU

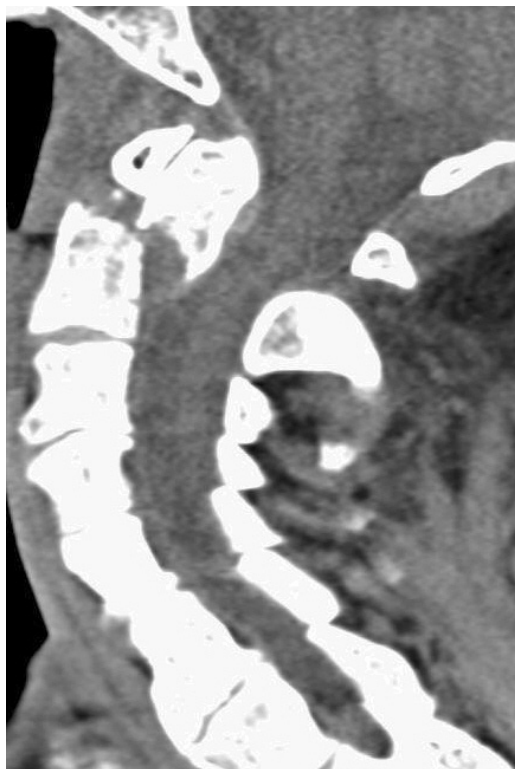
Pacjent 53 letni przyjęty do Kliniki po wcześniejszej hospitalizacji w innym ośrodku, do którego trafił po urazie głowy i kręgosłupa szyjnego. Bezpośrednio po urazie wykonano RTG kręgosłupa szyjnego, które wykazało złamanie podstawy zęba obrotnika. Pacjent skarżył się jedynie na ból karku, w badaniu neurologicznym bez odchyień od stanu prawidłowego. Początkowo zastosowano wyciąg za czaszkę, który został jednak usunięty samodzielnie i samowolnie przez pacjenta. Po konsultacji pacjent został przeniesiony do Kliniki Neurochirurgii celem dalszego leczenia. W momencie przyjęcia chory był ponad miesiąc po urazie. Wykonano badanie tomografii komputerowej pogranicza czaszkowo kręgosłupowego, które potwierdziło złamanie podstawy zęba obrotnika (złamanie typu II według klasyfikacji Anderson i D'Alonzo). Szczelina złamania przebiegała ukośnie w dół i do tyłu, złamany fragment zęba C2 był znacznie przemieszczony do tyłu w kierunku rdzenia kręgowego (Ryc. 1).

Jak wspomniano we wstępie najlepszą metodą leczenia złamań podstawy zęba obrotnika jest bezpośrednio zespolenie złamania śrubą. Nie w każdym

## CASE DESCRIPTION

A 53-year-old patient was admitted to the Department following hospitalization in a different unit due to an injury of the head and the cervical spine. A radiographic scan of the cervical spine was taken immediately after the injury and revealed a fracture of the base of the odontoid process. The patient reported only pain in the neck, and no neurological abnormalities were found on examination. Skull traction was used initially, but it was removed by the patient without permission. Following a consultation, the patient was transferred to the Neurosurgery Department for further treatment. On admission, his injury was more than a month old. A CT scan of the craniocervical junction confirmed a fracture of the base of the odontoid process (type II fracture according to the classification by Anderson and D'Alonzo). The fracture line slanted down and backwards and the fractured odontoid process was significantly dislocated posteriorly towards the spinal cord (Fig. 1).

As was mentioned in the introduction, the most successful treatment method for a fracture of the odontoid base is direct screw fixation. However, this technique cannot be used in all patients. In this par-

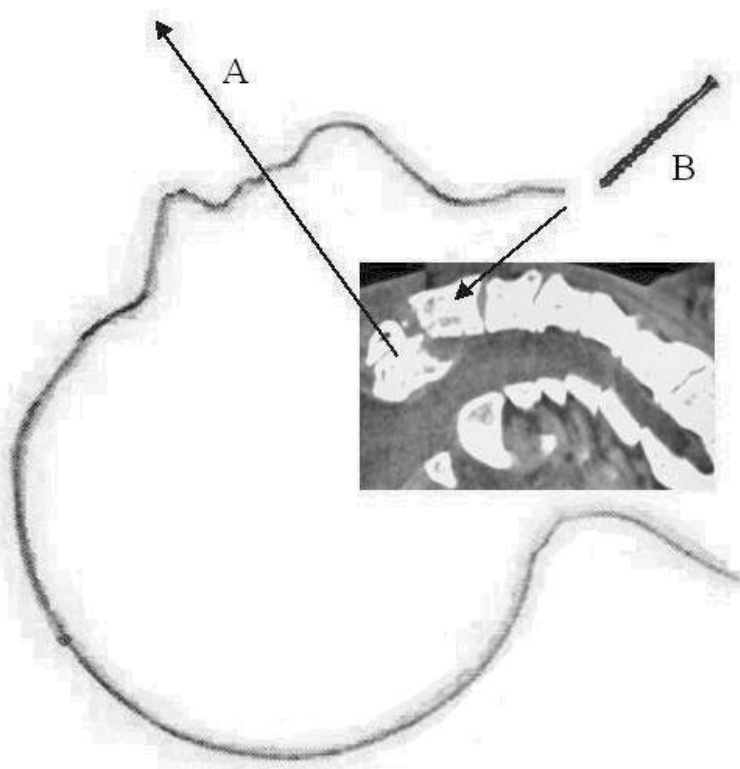


Ryc. 1. Badanie TK wykonane u pacjenta po przyjęciu do szpitala. Złamanie zęba obrotnika typu II według klasyfikacji Anderson i D'Alonzo w tomografii komputerowej wykonanej przy przyjęciu do szpitala. Szczelina złamania przebiegała ukośnie w dół i do tyłu, złamany fragment zęba C2 był znacznie przemieszczony do tyłu w kierunku rdzenia kręgowego

Fig. 1. A CT scan of the craniocervical junction performed on admission of the patient to the Department revealing a fracture of the base of the odontoid process (type II fracture according to the Anderson-D'Alonzo classification). The fracture line slanted down and backwards, the fractured odontoid process was significantly dislocated posteriorly towards the spinal cord

jednak przypadku istnieje taka możliwość. W opisywanym przypadku złamany i przemieszczony do tyłu fragment zęba obrotnika powodował impresję na rdzeń kręgowy wymagającą odbarczenia. Dodatkowo przemieszczenie widoczne w badaniu TK było tak duże, że nie istniała możliwość bezpośredniego zespolenia zęba C2 przy pomocy śruby. Z powodu w/w przeciwwskazań zdecydowano się na zabieg operacyjny z dostępu przez tylną ścianę gardła sposobem Crockarda w celu usunięcia złamanego fragmentu i odbarczenia rdzenia kręgowego. Po wykonaniu tego zabiegu pacjenta czekałby kolejny zabieg stabilizacji potyliczno-kręgosłupowej z dostępu tylnego w celu uzyskania stabilności, który jednak spowodowałby ograniczenie ruchomości odcinka szyjnego kręgosłupa. Dodatkowym czynnikiem mającym wpływ na początkowo wybraną technikę operacyjną była ocena radiologiczna wykonana po znieczuleniu pacjenta. Wykazała ona, że przemieszczenia odłamanego fragmentu nie udaje się nastawić poprzez trakcję i manewrowanie ułożeniem głowy pomimo farmakologicznego zwiotczenia mięśni. Sposobem opisanym przez Crockarda z dojścia przez tylną ścianę gardła dotarto do zęba C2. Uwidoczniono łuk przedni C1 oraz ząb obrotnika wraz ze szcze-

tycular case, the fractured and posteriorly dislocated fragment of the odontoid process impinged on the spinal cord and decompression was required. Moreover, the dislocation visible in the CT scan was so large that direct screw fixation of the C2 odontoid process was impossible. In view of these contraindications, the decision was made to use a posterior pharyngeal wall approach and Crockard's method in order to remove the fractured fragment and decompress the spinal cord. Afterwards the patient would need another procedure of occipito-spinal stabilization from a posterior approach to maintain stability, which, however, would also impair the mobility of the cervical spine. The initial choice of surgical technique was additionally influenced by a radiological assessment performed following anesthesia, which revealed that the dislocation of the fractured fragment could not be adjusted through traction and maneuvering the bone head even despite drug-induced muscle relaxation. A posterior pharyngeal wall approach was used to reach the odontoid process as described by Crockard. The anterior arc of C1 was exposed along with the odontoid process and the fracture line. Soft tissue was removed from the fracture fissure to enable mobilization of bone fragments



Ryc. 2. Schemat zabiegu operacyjnego. A) repozycja złamania zęba obrotnika z dojścia przez tylną ścianę gardła; B) bezpośrednie zespolenie złamania śrubą z dojścia podżuchwowego

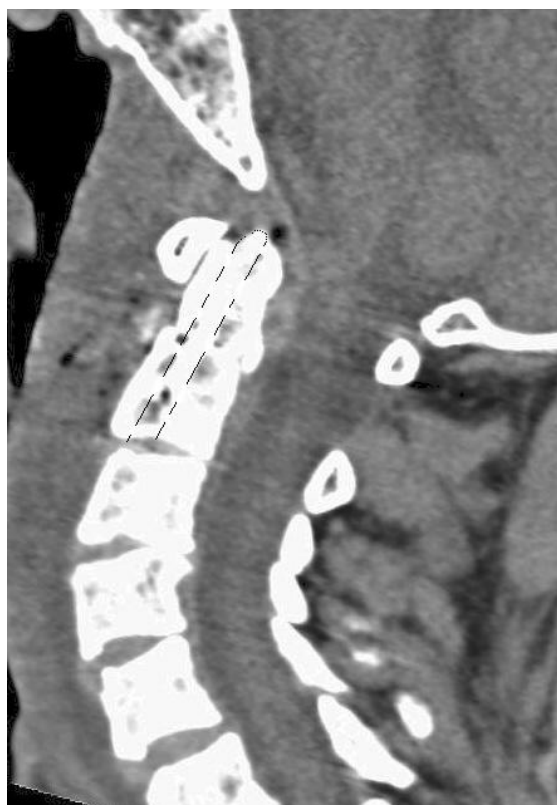
Fig. 2. Diagram of the surgical procedure A) reposition of the odontoid process fracture from a posterior pharyngeal wall approach; B) direct screw fixation from a submandibular approach

liną złamania. Usunięto tkanki miękkie ze szczeliny złamania, co umożliwiło mobilizację odłamów względem siebie. Zaobserwowano, że podciągając do góry haczykiem złamany fragment C2 obserwuje się w obrazie RTG nastawienie złamania zęba C2. Z tego powodu zdecydowano się zmienić plan zabiegu operacyjnego i nie usuwać złamanego, przemieszczonego w kierunku rdzenia kręgowego zęba C2, ale wykonać próbę bezpośredniego zespolenia zęba C2 po jego wcześniejszej repozycji. Z kolejnego dojścia operacyjnego, podżuchwowego dotarto na przednią powierzchnię kręgosłupa szyjnego. Po wykonaniu repozycji złamania zęba C2 z dojścia przez tylną ścianę gardła wykonano bezpośrednie zespolenie złamania zęba C2 przy pomocy śruby wprowadzonej przez blaszkę graniczną dolną trzonu C2. Schemat zabiegu przedstawiono na Ryc. 2, natomiast obraz pooperacyjny na Ryc. 3.

Po zabiegu pacjent pionizowany w drugiej dobie, po 7 dniach wypisany ze szpitala. Zalecono usztywnienie szyi kołnierzem przez 8 tygodni. Zdjęcia RTG wykonane po tym okresie wykazały stabilny zrost złamania. Kontrola przeprowadzona po pół roku wykazała prawidłową fizjologiczną ruchomość kręgosłupa szyjnego.

in relation to one another. It was observed that pulling up the fractured fragment of C2 with a hook produced alignment of the odontoid process on radiographic images. Therefore, it was agreed to modify the surgical procedure by not removing the broken odontoid process dislocated towards the spinal cord but attempting direct fixation of the odontoid process following its reposition. The anterior aspect of the cervical spine was accessed from a submandibular approach. After repositioning the odontoid process from a posterior pharyngeal wall approach, direct fixation of the odontoid fracture from a submandibular approach was performed with a screw inserted through the inferior lamina of the C2 body. The procedure is presented in Fig. 2, and Figure 3 shows the postoperative CT scan.

Ambulation was successfully attempted on the second post-operative day. The patient was discharged from the hospital after 7 days. Neck bracing with a cervical collar for 8 weeks was prescribed. Radiographs performed after this period revealed a stable union of the fracture. A follow-up examination conducted after six months demonstrated physiological mobility of the cervical spine.



Ryc. 3. Badanie TK wykonane po zabiegu operacyjnym. Widoczne zespolenie złamania przy pomocy śruby. Tor przebiegu śruby uwidocznił linią przerywaną

Fig. 3. Postoperative CT scan with a visible screw fixation of the fracture. The track of the screw is marked with a dashed line

## OMÓWIENIE

Wykonanie bezpośredniego zespolenia złamania zęba kręgu obrotowego przy pomocy śruby jest uzależnione od anatomicznych cech złamania. Główną rolę odgrywają tutaj kierunek linii złamania, przemieszczenie odłamanej fragmentu zęba i ewentualne uszkodzenie więzadła poprzecznego atlasu. Przeciwwskazania mają miejsce w następujących sytuacjach: 1) towarzyszące zerwanie więzadła poprzecznego; 2) przemieszczenie zęba do przodu niedające się zredukować; 3) typ złamania, którego szczelina schodzi na trzon C2 skośnie na dół i do przodu; 4) towarzyszący ucisk rdzenia kręgowego od przodu wymagający odbarczenia przez usunięcie zęba [5,6]. Płaszczyzna złamania powinna być skierowana poziomo lub ukośnie w dół i do tyłu, wówczas śruba wkręcana od podstawy trzonu C2 w kierunku szczytu zęba C2 zagłębia się łatwo w odłamany fragment. Jeżeli szczelina złamania schodzi na trzon C2, a ponadto przebieg skośnie na dół i do przodu to pozostaje tylko niewielki fragment trzonu na zakotwiczenie w nim śruby. W takiej sytuacji zespolenie będzie niepewne i należy zastosować inny rodzaj stabilizacji [9,10,11]. Poza tym taka szczelina złamania przebiegałaby równolegle do toru śruby. Jeśli istnieje przemieszczenie do przodu i nie można go zredukować, to tym samym nie ma technicznej możliwości wprowadzenia śruby w przemieszczony odłamek.

Zespolenie złamania zęba obrotownika nie ma sensu, jeśli współistnieje uszkodzenie więzadła poprzecznego. Pomimo zrostu złamania nadal obecna będzie niestabilność spowodowana przerwaniem ciągłości ligamentum transversum. W ocenie przedoperacyjnej ważny jest pomiar odległości określanej jako ADI (Atlanto-Dens Interval). Jest to odległość między łukiem przednim C1 a zębem obrotownika w obrazach radiologicznych w projekcji bocznej. Norma u dorosłych wynosi 3 mm. Powyżej tej wartości należy podejrzewać przerwanie ciągłości więzadła poprzecznego kręgu szczytowego i dyslokację C1/C2 [12,13,14]. Jego zerwanie należy podejrzewać również, jeśli współistnieje złamanie typu Jeffersona'a z dużym rozejściem na boki mas bocznych (powyżej 6,9 mm wg kryterium Spence'a) [14,15].

## PIŚMIENNICTWO / REFERENCES

1. Anderson LD, D'Alonzo RT. Fractures of the odontoid process of the axis. *J Bone Joint Surg* 1974; 56A: 1662-1674.
2. Zapalowicz K, Radek M, Radek A. Bezpośrednie zespolenie złamania zęba kręgu obrotowego u dziecka. *Neurol Neurochir Pol* 2004; 38: 317-321.
3. Heggeness MH, Doherty BJ. The trabecular anatomy of the axis. *Spine* 1993; 18: 1945-49.
4. Jankowski R, Kopaszewski B, Żukiel R, Stachowska-Tomczak B, Nowak S, Szymański J. Nieurazowe złamanie wyrostka zębowego kręgu obrotowego u chorego z reumatoidalnym zapaleniem stawów. Opis przypadku. *Neuroskop* 2006; 8: 77-81.
5. Frańczuk B. An antero-lateral submandibular approach to segment C2-C3 of the cervical spine. *Ortopedia, traumatologia, rehabilitacja* 2000; 2(1): 35-7.

## DISCUSSION

Direct screw fixation of an odontoid process fracture is only possible in fractures with specific anatomical features, the most important being the course of the fracture line, dislocation of the fractured fragment of the C2 process and possible damage to the transverse ligament of the atlas. Contraindications for the procedure include: 1) concomitant rupture of the transverse ligament; 2) irreducible anterior dislocation of the odontoid process; 3) a type of fracture in which the fracture line slants towards the body of C2 inferiorly and anteriorly; 4) concomitant anterior compression of the spinal cord requiring decompression through the removal of the odontoid process [5,6]. The fracture plane ought to be directed horizontally or obliquely down and backwards, so that a screw inserted in the base of the C2 body towards the apex of the odontoid process easily sinks into the fractured fragment. If the fracture line slopes through the body of C2 and additionally slants inferiorly and anteriorly, only a small fragment of the vertebral body is available for anchoring the screw. Fixation performed in such circumstances is prone to instability and other stabilization techniques ought to be used [9,10,11]. What is more, a fracture line like the one described above would be parallel to the track of the screw. An irreducible anterior dislocation is equivalent to a lack of technical possibility of inserting the screw in the dislocated fragment.

Fixation of an odontoid fracture is pointless in the presence of damage to the transverse ligament because, regardless of the fracture union, instability related to the rupture of the ligament will still be present. Preoperative assessment should involve the measurement of the atlanto-dens interval (ADI), or the distance between the front arc of C1 and the odontoid process in a lateral radiographic image. The reference value for adults is 3 mm and higher values should raise the suspicion of a rupture of the transverse ligament of the atlas with C1/C2 dislocation [12,13,14]. A rupture of the transverse ligament should also be suspected in the case of a concomitant Jefferson fracture with significant spreading of the lateral masses (above 6.9 mm according to the Spence criterion) [14,15].

6. Maciejczak A, Radek A, Zapałowicz K. Metody stabilizacji pogranicza czaszkowo-kregoslupowego - kryteria doboru. *Neurol Neurochir Pol* 1999; 33: 1151-1163.
7. Apfelbaum RI, Lonser RR, Veres R, Casey A. Direct anterior screw fixation for recent and remote odontoid fractures. *J Neurosurg (Spine 2)* 2000; 93: 227-236.
8. Aebi M, Etter C, Coscia M. Fractures of the odontoid process. Treatment with anterior screw fixation. *Spine* 1989; 14: 1065-1070.
9. Zapałowicz K, Radek A. Bezpośrednie zespolenie złamań podstawy zęba kręgu obrotowego. *Neurol Neurochir Pol* 2001; 35: 175-186
10. Bohler J. Anterior stabilization for acute fractures and nonunions of the dens. *J Bone Joint Surg* 1982; 64A: 18-27.
11. Guiot B, Fessler RG. Complex atlantoaxial fractures. *J Neurosurg (Spine)* 1999; 91: 139-143.
12. Greene KA, Dickman CA, Marciano FF, Drabier JB, Hadley MN, Sonntag VKH. Acute axis fractures. Analysis of management and outcome in 310 consecutive cases. *Spine* 1997; 22: 1843-1852.
13. Derwinis T, Białoszewski D. General principles governing radiological examinations in cervical spine injuries. *Ortopedia, traumatologia, rehabilitacja* 2000; 2(1): 91-4.
14. Siemianowicz A, Wawrzynek W, Pilch-Kowalczyk J i wsp. Ocena złamań kręgosłupa szyjnego u osób dorosłych w spiralnej tomografii komputerowej. *Pol J Radiol* 2005; 70(4): 47-54.
15. Spence KF Jr., Decker S, Sell KW. Bursting Atlantal Fracture Associated with Rupture of the transversal ligament. *J Bone Joint Surg* 1970; 52A: 543-9.