

Development of innovative training solutions in the field of functional evaluation aimed at updating of the curricula of health sciences schools



MODUŁ BIOMECHANIKA KRĘGOSŁUPA

*Jednostka dydaktyczna B*

*Zmiany biomechaniczne kręgosłupa*



## B. Biomechaniczne zmiany kręgosłupa

- Wprowadzenie
- Cele
- Treści szkoleniowe
- Podsumowanie
- Mapa koncepcyjna
- Bibliografia

## B. Biomechaniczne zmiany kręgosłupa

# Część 1. Cele

## 1. CELE

Celami niniejszej jednostki dydaktycznej są:

- Poznanie biomechaniki stojącej za głównymi patologiami kręgosłupa szyjnego, piersiowego i lędźwiowo-krzyżowego.
- Poznanie biomechaniki związanej z technikami zachowawczymi i leczeniem głównych patologii kręgosłupa.
- Poznanie biomechaniki związanej z interwencją chirurgiczną w głównych patologjach kręgosłupa.

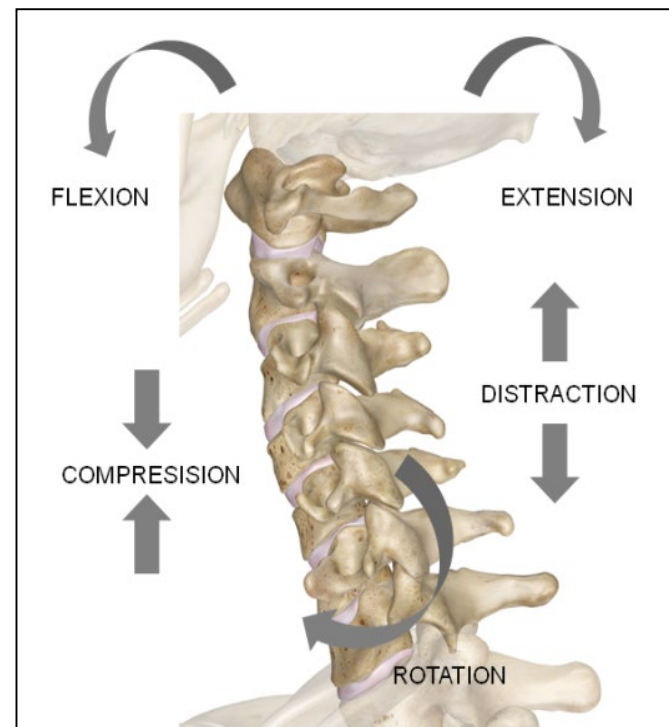
## B. Biomechaniczne zmiany kręgosłupa

# Część 2. Biomechanika głównych patologii kręgosłupa szyjnego

## 2.1. WPROWADZENIE

Istnieje wiele powtarzalnych schematów urazów w zależności od kierunku i wielkości siły przyłożonej do najwyższego segmentu kręgosłupa:

- Zgięcie (Flexion)
- Zgięcie boczne (Lateral-flexion)
- Rozciągnięcie (Extension)
- Kompresja (Compression)
- Ścinanie (Shear)
- Rotacja (Rotation)



Rysunek 1. Mechanizmy urazów kręgosłupa szyjnego (źródło: [www.innerbody.com](http://www.innerbody.com))

## 2.2. URAZY GÓRNEGO ODCINKA KRĘGOSŁUPA SZYJNEGO

1/3 wszystkich urazów kręgosłupa szyjnego



40% kończy się śmiercią

### Poziom urazu kręgosłupa szyjnego

Złamania kłykcia kości potylicznej

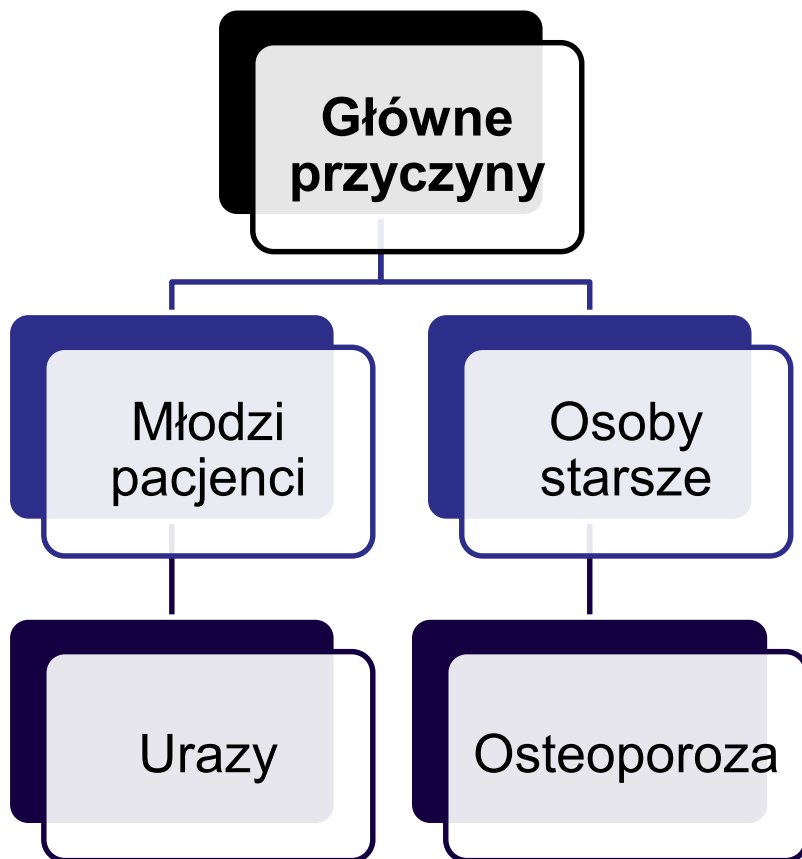
Zwichnięcie stawu szczytowo-potylicznego

Złamania Atlasu

Zwichnięcie szczytowo-obrotowe

Złamanie kręgu obrotowego (Axis)

## 2.2. URAZY GÓRNEGO ODCINKA KRĘGOSŁUPA SZYJNEGO



### Główne mechanizmy urazu



- Hiperfleksja
- Hiperrozszerzenie
- Zgięcie boczne
- Rotacja
- Kombinacja wszystkich powyższych





## 2.2.1. ZŁAMANIA KŁYKCI KOŚCI POTYLICZNEJ

Tabela 1: Klasyfikacja OCF wg Andersona i Montesano

Typ	Opis	Biomechanika	Stabilność
I	Zaklinowanie (Impaction)	Wynika z obciążenia osiowego; ipsilateralne więzadło alarowe może być naruszone, ale stabilność jest utrzymywana przez kontralateralne więzadło alarowe i błonę pokrywającą	stabilne
II	Rozszerzenie podstawy czaszki (Skull base extension)	Rozciąga się od kości potylicznej przez kłykiec i wchodzi do otworu wielkiego (foramen magnum); stabilność jest utrzymywana przez nienaruszone więzadła skrzydłowate i błonę pokrywającą	Złamanie stabilne
III	Oderwanie (Avulsion)	Mediated via alar ligament tension; associated disruption of tectorial membrane and contralateral alar ligament may cause instability	Złamanie niestabilne

## 2.2.1. ZŁAMANIA KŁYKCI KOŚCI POTYLICZNEJ

		Klasyfikacja wg Tuli i wsp.	
Klasyfikacja wg Andersona i Montesano	I	1	Bez przemieszczenia - Stabilne
	II		
		2A	Z przemieszczeniem – Stabilne; brak dowodów w obrazowaniu radiologicznym, tomografii komputerowej lub rezonansu magnetycznego na niestabilność potyliczno-atlanto-osiową lub zerwanie więzadeł
	III	2B	Z przemieszczeniem – Niestabilne; dodatni wynik obrazowania radiograficznego, TK lub MR potwierdzający niestabilność osi potyliczno-szczytowo-osiowej lub przerwanie więzadeł

Rysunek 3. Tuli i wsp. (1997) Klasyfikacja OCR  
Źródło: Hanson J.et al. 2002

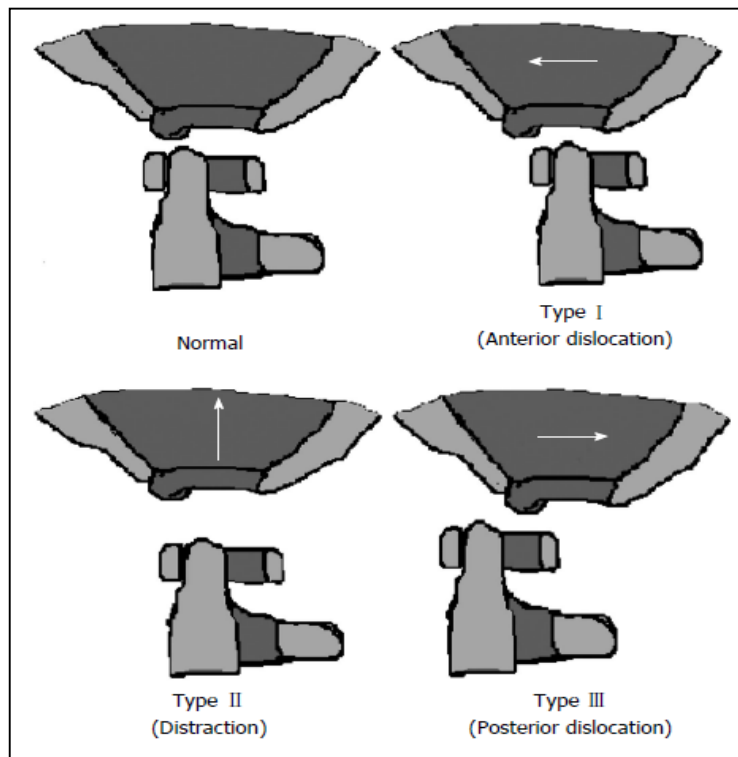
## 2.2.2. ZWICHNIĘCIE STAWU SZCZYTOWO-POTYLICZNEGO

### Zwichnięcie atlanto-potyliczne (AOD) lub dysocjacja potyliczna(OCD)



- Dysocjacja potylicy od kręgosłupa szyjnego
- Wytwarzane w postaci sił rozpraszających i rozciągających, przykładanych do potylicy w stosunku do atlasu .
- Mechanizm kontuzji przy gwałtownym hamowaniu.
- AOD często u dzieci:
  - Ze względu na stosunek masy ciała i głowy
  - Ze względu na mniejsze kłykcie potyliczne.
  - Ze względu na większe rozluźnienie więzadeł szczytowo-potylicznych
  - Ze względu na bardziej poziome połączenie stawu szczytowego.

## 2.2.2. ZŁAMANIA ATLASU



Rysunek 4. Klasyfikacja złamań wg Traynelis (źródło: Hall GC. et al. 2015)

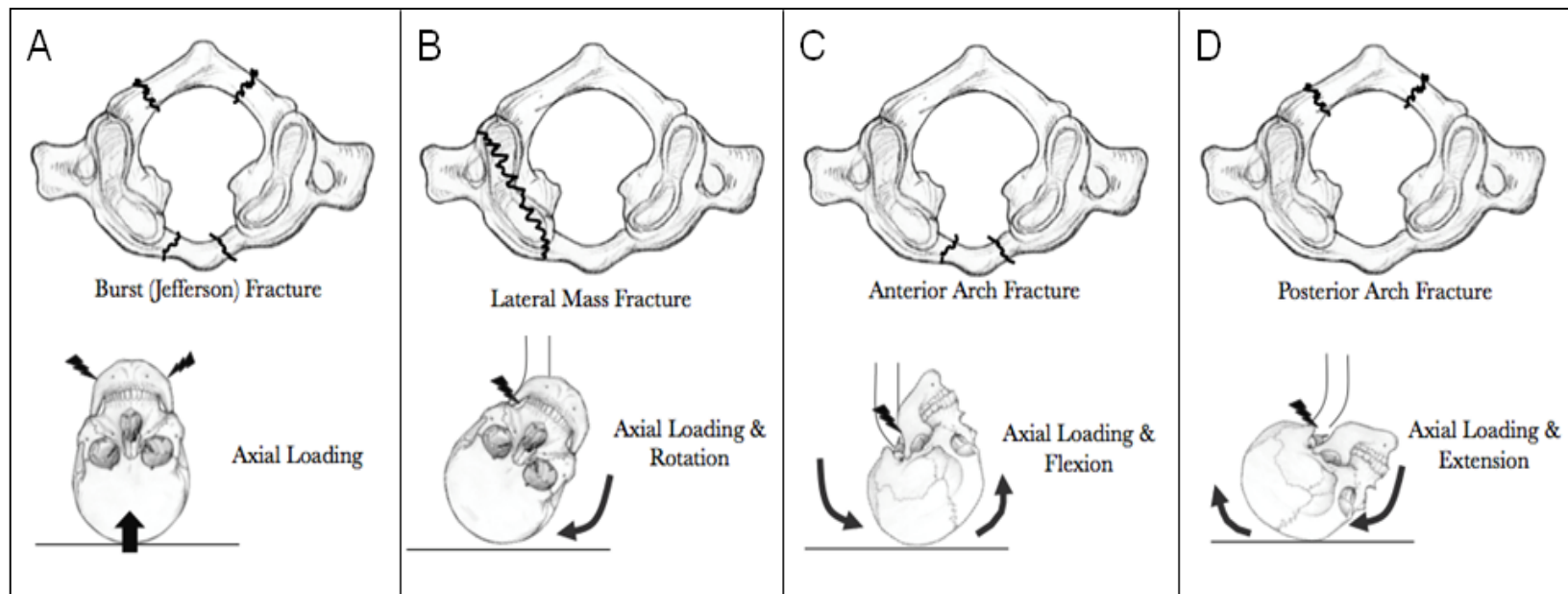
## 2.2.3. ZŁAMANIA KRĘGU SZCZYTOWEGO (ATLAS)

### Złamania Atlasu



- Urazowe obciążenie osiowe przez potylicę
- Wytwarzane przez siły rozciągające, zginające i obrotowe .
- W zależności od różnych kombinacji sił może dojść do złamania łuku przedniego lub tylnego lub jednostronnego masowego złamania.

## 2.2.3. ZŁAMANIA KRĘGU SZCZYTOWEGO (ATLAS)



Rysunek 5. Złamania kręgów w Atlasie (Źródło: [www.ebconsult.com](http://www.ebconsult.com))

## 2.2.4. ZWICHNIĘCIE SZCZYTOWO-OBROTOWE

### Zwichnięcie szczytowo-obrotowe



- Odnosi się do niestabilności pomiędzy Atlasem a kręgiem obrotowym (Axis) (C1-C2)
- Niestabilność mogą powodować nieprawidłowości urazowe, zapalne, idiopatyczne lub wrodzone.
- Niezwykle rzadkie obrażenia w wyniku urazu bez wcześniejszego uszkodzenia.
- Przerwanie więzadła poprzecznego Atlasu.
- Rzadko, uszkodzenie więzadła poprzecznego może wiązać się z jednoczesnym przerwaniem więzadeł szczytowego i poprzecznego.



## 2.2.4. ZWICHNIĘCIE SZCZYTOWO-OBROTOWE

Table 2: Objawy kliniczne zwichnięcia szczytowo-obrotowego (Yang et al. 2014)

Mniej poważne objawy	Objawy umiarkowane	Najcięższe objawy
<ul style="list-style-type: none"> <li>• U około 50% pacjentów występuje ból szyi i/lub ograniczenie ruchów szyi.</li> <li>• U 70% pacjentów występuje osłabienie i/lub drętwienie</li> <li>• U 90% pacjentów występują objawy piramidowe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zaburzenia zwieraczy</li> <li>• Dysfunkcja dolnych nerwów czaszkowych</li> <li>• Zaburzenia oddychania</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mielopatia</li> <li>• Niewydolność oddechowa</li> <li>• Rozwarstwienie tętnicy kręgosłupa</li> <li>• Zaburzenia neurologiczne</li> <li>• Rzadko niedowład czterokończynowy</li> <li>• Śmierć w przypadku nieleczenia</li> </ul>

## 2.2.4. ZWICHNIĘCIE SZCZYTOWO-OBROTOWE

### Atlantodental Interval (ADI)

Mała szczelina między tylną częścią przedniego pierścienia atlasu a przednią częścią odontoidu

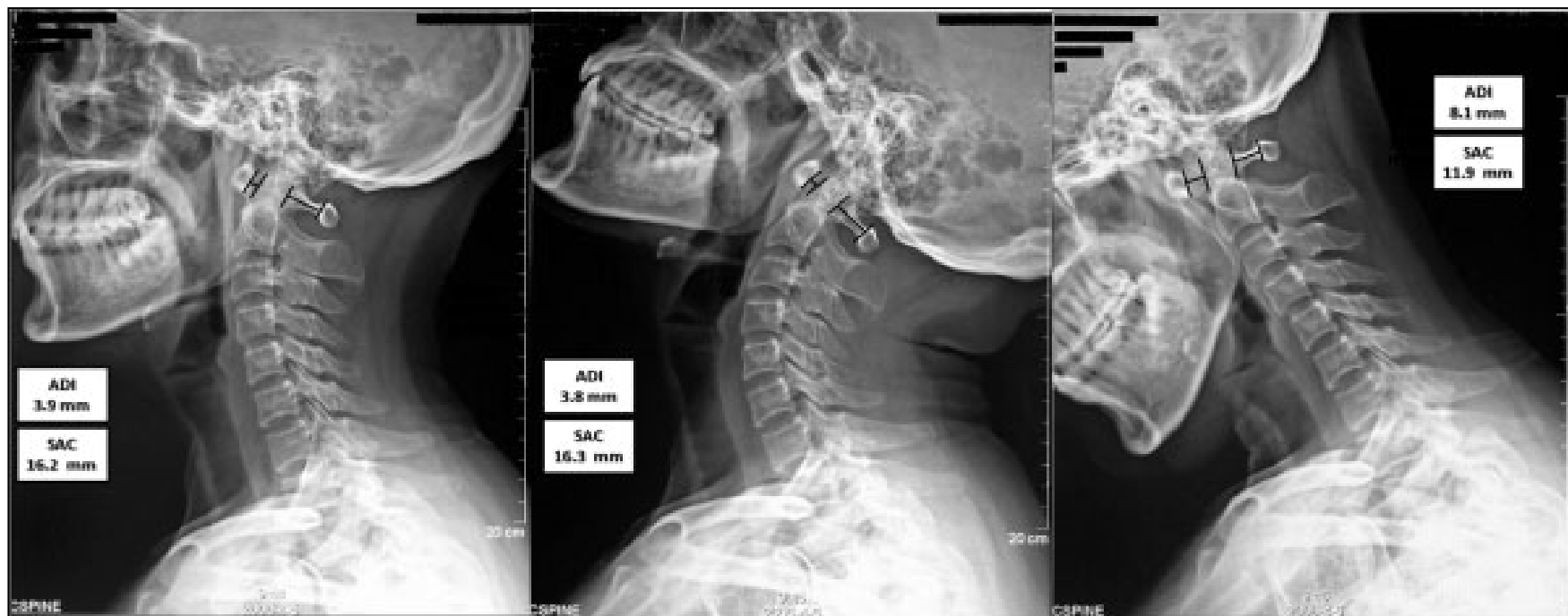
Mierzone za pomocą radiogramu zgięcia i wyprostu.

Strzałkowy pomiar radiologiczny. Od linii poprowadzonej ku górze wzdłuż przedniej granicy trzonu kości szczytowej do przedniego łuku kości szczytowej

ADI jest stałe podczas ruchów głowy. Normalnie 3 mm u dorosłych, 5 mm u dzieci.

70% przypadków klinicznych zwichnięć stawu szczytowo-obrotowego jest spowodowana zwichnięciami przednimi.

## 2.2.4. ZWICHNIĘCIE SZCZYTOWO-OBROTOWE



Rysunek 6. ADI podczas ruchu kręgosłupa szyjnego (źródło: Yang et al. 2014)

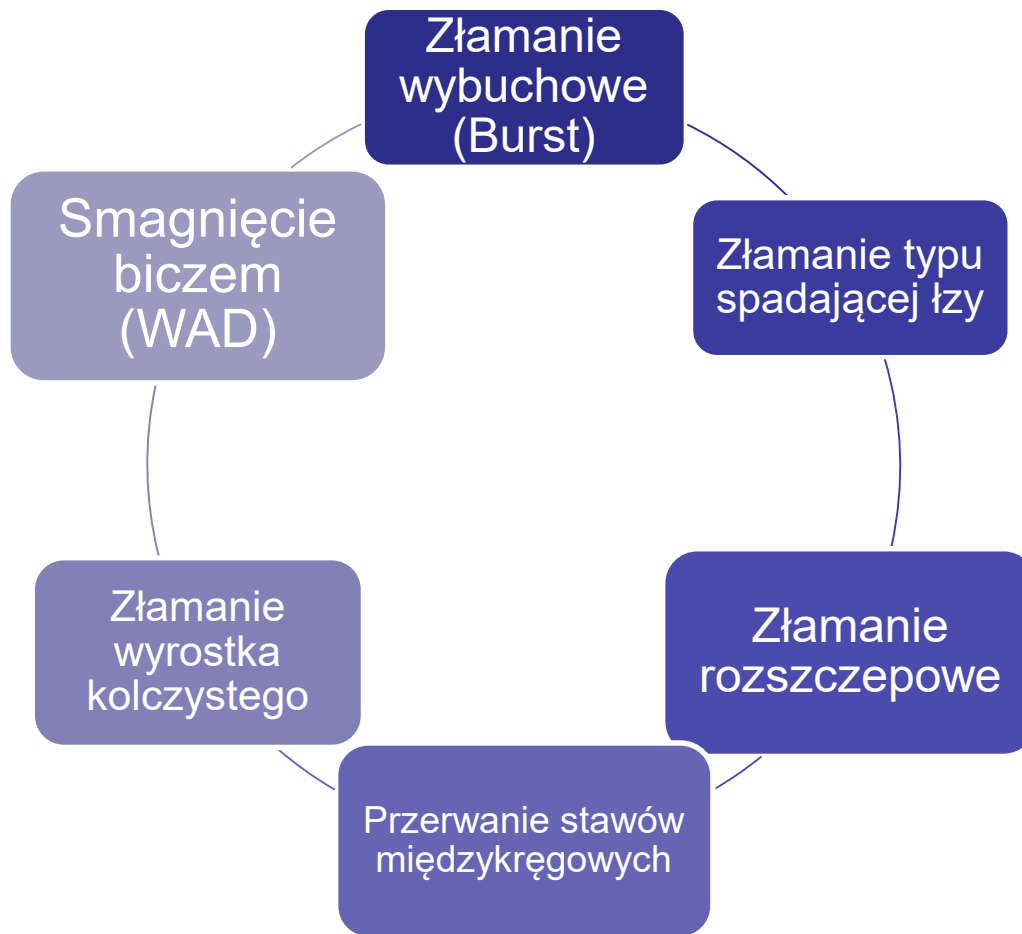
## 2.2.5. ZŁAMANIE KRĘGU OBROTOWEGO (AXIS)

### Złamanie axis



- Najczęstsze złamanie kręgosłupa (10% wszystkich urazów kręgosłupa).
- Klinicznie ciche, chyba że powodują ucisk rdzenia kręgowego.
- Może być spowodowane zarówno siłami rozciągającymi, jak i zginającymi .
- Uszkodzenie więzadeł podłużnych, poprzecznych, przednich i tylnych może spowodować niestabilność kompleksu C1-2.
- Urazowa spondyloza kręgu obrotowego tworzy poważną niestabilność..
- Dolny odcinek szyjny kompensuje zaburzoną równowagę strzałkową górnego odcinka szyjnego kręgosłupa.

## 2.3. USZKODZENIA DOLNEGO ODCINKA KRĘGOSŁUPA SZYJNEGO



## 2.3.1. ZŁAMANIA WYBUCHOWE

Osiowa siła obciążenia w odcinku szyjnym kręgosłupa

Pozycja szyi neutralna. Nie zastosowano siły zginającej.

Złamanie kompresyjne

Może zostać uszkodzony trzon kręgu od C3 do T1

Kompleks więzadeł tylnych pozostaje nienaruszony

może spowodować retropulsję trzonu kręgu, powodując uraz rdzenia



Rysunek 7 Obraz TK w płaszczyźnie strzałkowej pokazujący pęknięcie C5-6 z uszkodzonym kanałem rdzenia kręgowego (źródło: Neupsykey.com)

## 2.3.2. ZŁAMANIE TYPU SPADAJĄCEJ ŁZY

Na kręgosłup działa jednocześnie połączenie sił zgięcia i kompresji osiowej.

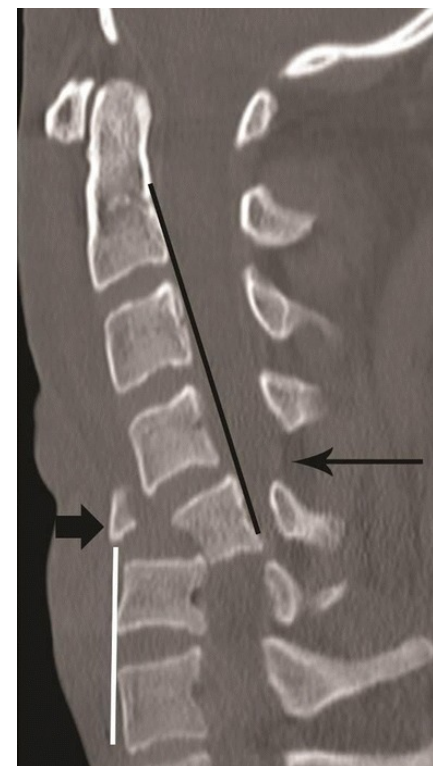
Tylna część trzonu kręgu cofnięta do kanału.

Podwichnięcie tylne trzonu kręgu

Ostra kifoza

Przerwanie więzadła podłużnego przedniego i tylnego

Wysoka częstość występowania niedowładu czterokończynowego.



Rysunek 8. Złamanie łezkowate w TK w płaszczyźnie strzałkowej u młodego pacjenta (źródło: ResearchGate.com)

## 2.3.3. ZŁAMANIE KRĘGOSŁUPA Z ROZSZCZEPEM STRZAŁKOWYM (MIDSAGITTAL CLEAVAGE FRACTURE)

Odmiana złamania wybuchowego

Zwykle widoczne w dolnej części kręgosłupa szyjnego (C4-5-6)

To złamanie determinuje zamknięty, kostny kształt pierścienia C4-5-6.

Złamanie blaszki i przerwanie stawu międzykręgowego z powodu złamania trzonu kręgu.

Bardzo niestabilna kontuzja.

Części kostne trzonu często naruszają rdzeń kręgowy.



## 2.3.4. PRZERWANIE STAWÓW MIĘDZYKRĘGOWYCH

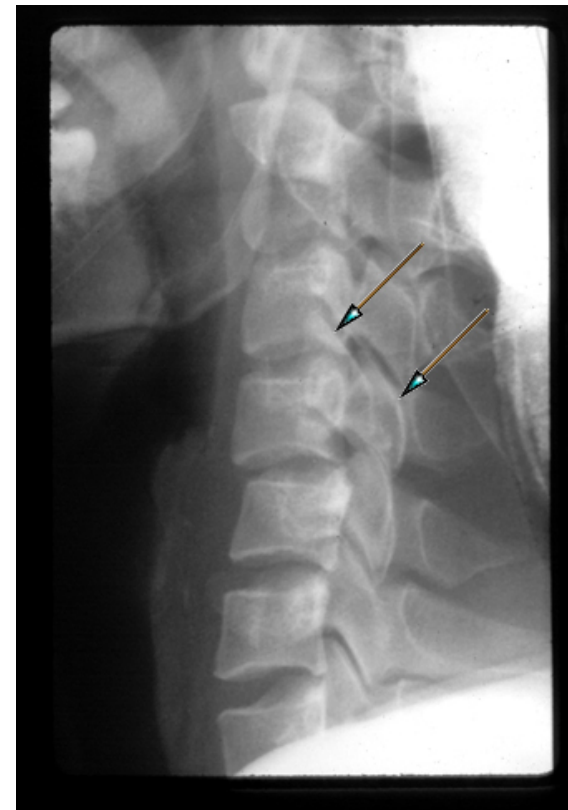
Siły zgięcia/wyprostu w połączeniu z siłami rotacyjnymi mogą powodować zwichnięcia.

Zwykle dotyczy poziomów C4-5 lub C5-6.

Zwykle dotyczy poziomów C4-5 lub C5-6.

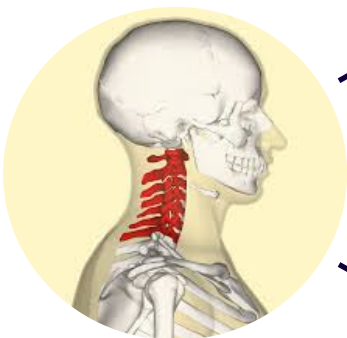
Przyśrodkowe powierzchnie czołowe wyższego kręgu nasuwają się na niższy kręg

Może obejmować złamanie jednej lub obu powierzchni kręgów.



Rysunek 9. Obustronne zwichnięcie powierzchni ( źródło: Orthobullets.com)

## 2.3.4. ZWICHNIĘCIE STAWÓW MIĘDZYKRĘGOWYCH



Jednostronne  
zwichnięcia

Zwichnięcia  
obustronne

- Działające siły są głównie zgięciowe i rotacyjne.
- Częsty objaw monoradikulopatii
- Siły działające to głównie zgięcie/rozprostowanie.
- Mniejsze siły rotacyjne niż w zwichnięciu jednostronnym.
- Siły działające pozwalają na przednie przemieszczenie górnego odcinka szyjnego kręgosłupa w stosunku do dolnego odcinka szyjnego.

## 2.3.5. ZŁAMANIE WYROSTKA KOLCZYSTEGO

Zerwanie jednego lub więcej wyrostków kolczystych kręgosłupa szyjnego.

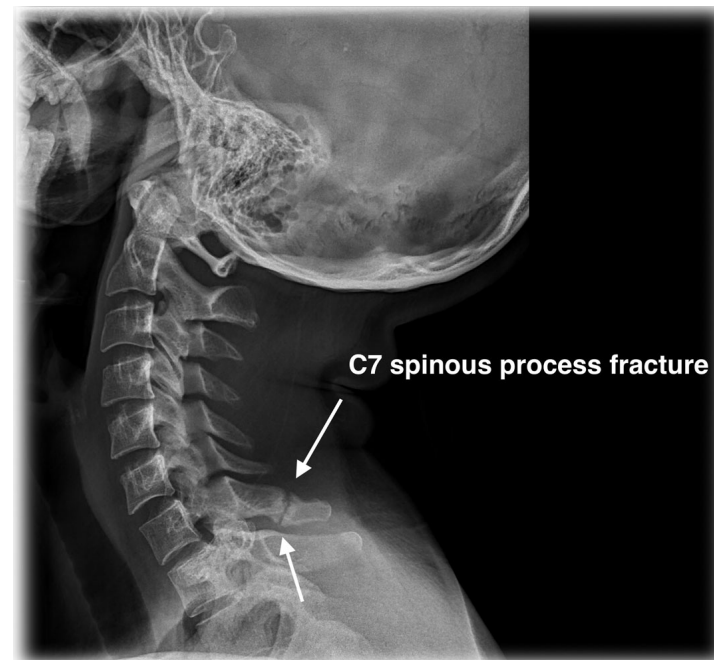
Zazwyczaj określane jako "złamanie koparki".

Siła o dużej wartości przenoszona z obręczy barkowej na wyrostek kolczysty

Złamanie zwykle zlokalizowane w C6-7 ze względu na dłuższe wyrostki kolczyste

Wyrostki kolczyste nie są w stanie wytrzymać dużego momentu zginającego.

Złamanie w pobliżu trzonu kręgu



Rysunek 10 Złamanie wyrostka kolczystego C7 (źródło: earthlab.com)

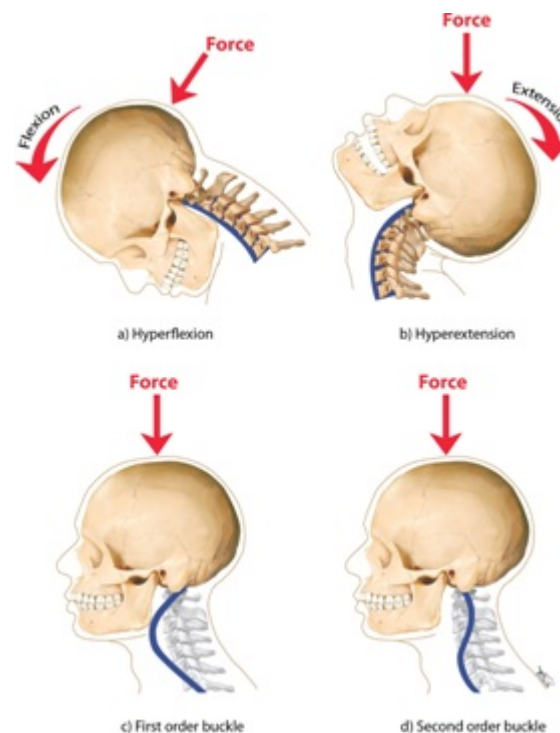
## 2.3.6. URAZ „SMAGNIĘCIE BICZEM”

Termin opisujący kliniczne objawy urazu biczowego

Mechanizm przyspieszenia i opóźnienia, który powoduje przeniesienie energii na szyję

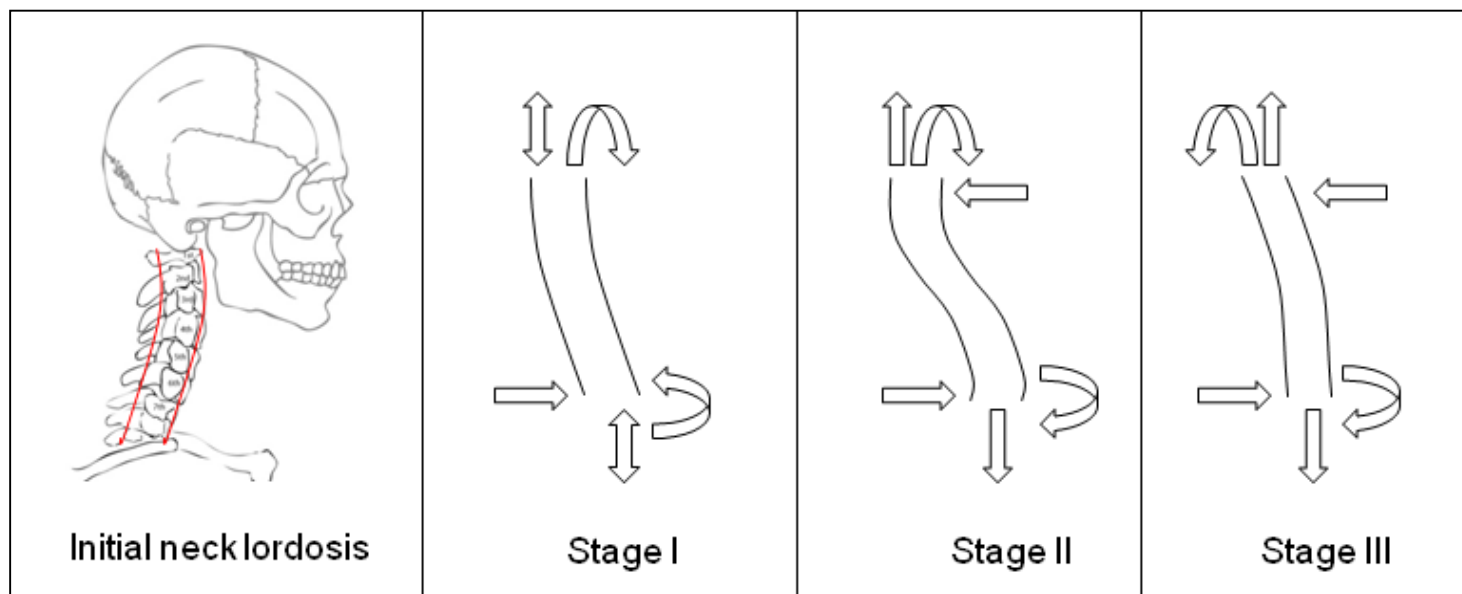
Powstaje w wyniku zderzenia tylnego lub zderzenia bocznego pojazdów

Powstaje również podczas nurkowania



Rysunek 11. Mechanizm smagnięcia biczem i przyłożony wektor siły (Źródło: [activephysioterapy.com](http://activephysioterapy.com))

## 2.3.6. URAZ „SMAGNIĘCIE BICZEM”



Rysunek 12. Modele deformacji szyi oraz wykresy siły i momentu na trzech etapach zderzenia tylnego (Źródło: Luan F. et al. 2009)

## 2.3.6. URAZ „SMAGNIĘCIE BICZEM”

Tabela 3: Fazy i zdarzenia kinematyczne podczas zderzenia tylnego (Kaneoka K. et al 2002)

Faza 1: Ruch sań	Faza 2: Siła osiowa szyi	Faza 3: Siła osiowa i ścinająca	Faza 4: Pełne wydłużenie
0-40 ms	40-100 ms	100-160 ms	150-220 ms
a. Siedzenie zaczyna naciskać na plecy wolontariusza	a. Tułów przesuwa się do przodu - popychany przez oparcie siedzenia	a. Sanki spowalniają odbicie tułowia i poruszają się do przodu z pewną rotacją w tył	a. Tułów porusza się do przodu i w dół
b. Kręgosłup zaczyna się prostować	b. tułów przesuwa się do góry - równoległe do nachylenia siedzenia, powodując osiowy ucisk kręgosłupa szyjnego spowodowany bezwładnością głowy, który osiąga maksimum	b. Siła osiowa na szyi zmniejsza się, podczas gdy siła ścinająca na szyi osiąga wartość szczytową w czasie około 120 ms	b. Obrót głowy i szyi osiąga pełny wyprost
c. Ruch w odcinku szyjnym nie nastąpił	c. Głowa pozostaje nieruchoma z powodu bezwładności, z lekkim początkowym zgięciem	c. Głowa zaczyna obracać się w kierunku przedłużenia	c. Siły ścinające i osiowe w szyi zmniejszają się
d. Brak reakcji mięśniowej w szyi	d. C6 obraca się wcześniej w kierunku wyprostowania niż górne segmenty kręgosłupa (C3, C4 i C5)	d. Kręgosłup szyjny ustawia się do wyrównania w wyproście	d. Wyładowanie mięśniowe kończy się po około 220 ms.
	e. Kręgi szyi przyjmują kształt litery "S" z górnym odcinkiem w zgięciu i dolnym w wyproście	e. EMG mięśnia mostkowo-obojęczkowo-sutkowego rozładowuje się od około 115 ms	
	f. Brak reakcji mięśniowej w szyi		

## B. Zmiany biomechaniczne kręgosłupa

# Część 3. Biomechaniczne zmiany odcinka piersiowego i lędźwiowego kręgosłupa



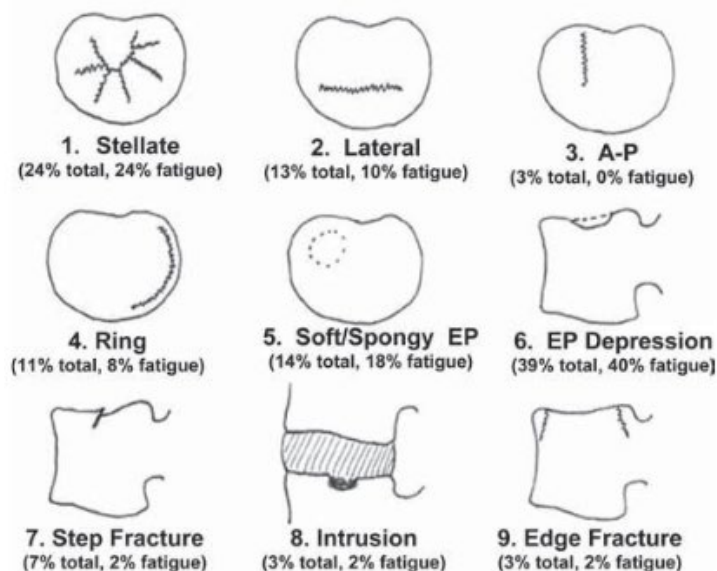
## 3.1. ENDPLATE FRACTURES

Złamania głównie w odcinku piersiowym i górnym odcinku lędźwiowym

Wytwarzane przez osiowe siły ściskające, zginające lub połączenie obu

Złamania zlokalizowane w obszarze centralnym, na obwodzie lub w poprzek płytki

Odgrywa główną rolę w złamaniach wybuchowych



Rysunek 12. System klasyfikacji złamań (from Gallagher S. et al. 2005)



## 3.2. ZŁAMANIA WYBUCHOWE

Wytwarzane przez siły ściskające o dużej wielkości.

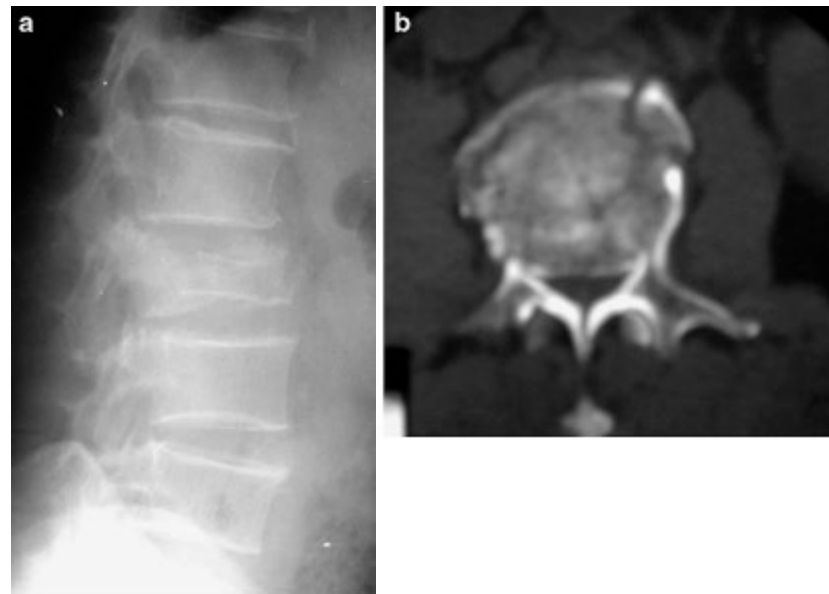
Niewydolność trzonów kręgów przednich i tylnych, utrata wzrostu i retropulsja.

T11 do L2 jest biomechanicznie najłabszym segmentem przeciw temu złamaniu

Niższe objawy neurologiczne niż w złamaniach kręgosłupa szyjnego

Może być stabilizowany przez więzadło podłużne tylne

Sklasyfikowane jako mechaniczne, neurologiczne lub kombinowane



Rysunek 13. a) Na bocznym zdjęciu rentgenowskim widać złamanie trzonu L2 u 59-letniego mężczyzny. b) Osiowy obraz CT wykazuje 70% uszkodzenie kanału.  
Źródło: Altay M. et al. 2007.

### 3.3. ZŁAMANIA KLINOWE

Wytwarzane przez osiową siłę ściskającą połączoną z momentem zgięcia

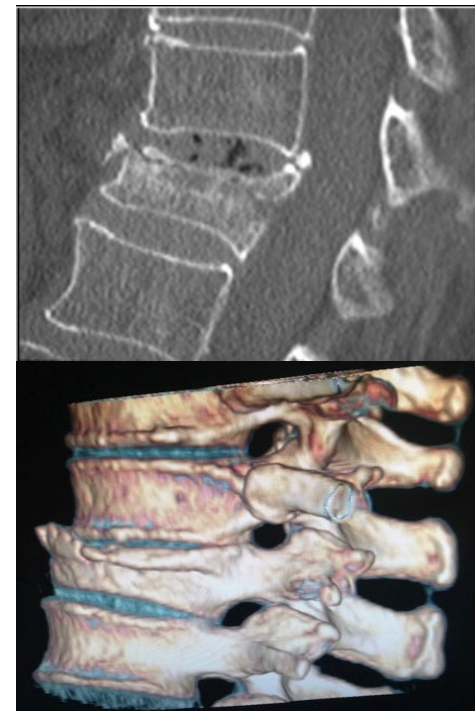
Uszkodzenie mechaniczne w przedniej części trzonu kręgu

Linia działania siły ściskającej jest umieszczona przednio w stosunku do trzonu kręgu.

Zazwyczaj uszkodzenie więzadeł tylnych

Częste złamania u pacjentów z osteoporozą

T12-L1 ma najwyższą częstość złamań z powodu zwiększonego obciążenia.



Rysunek 14. Złamanie klinowe kompresyjne z rekonstrukcji wielopłaszczyznowej w płaszczyźnie strzałkowej. Uraz bez zajęcia elementów tylnych  
Źródło: González-Montané J.L. 2014.

## 3.4. OBRAŻENIA SPOWODOWANE PASAMI BEZPIECZEŃSTWA

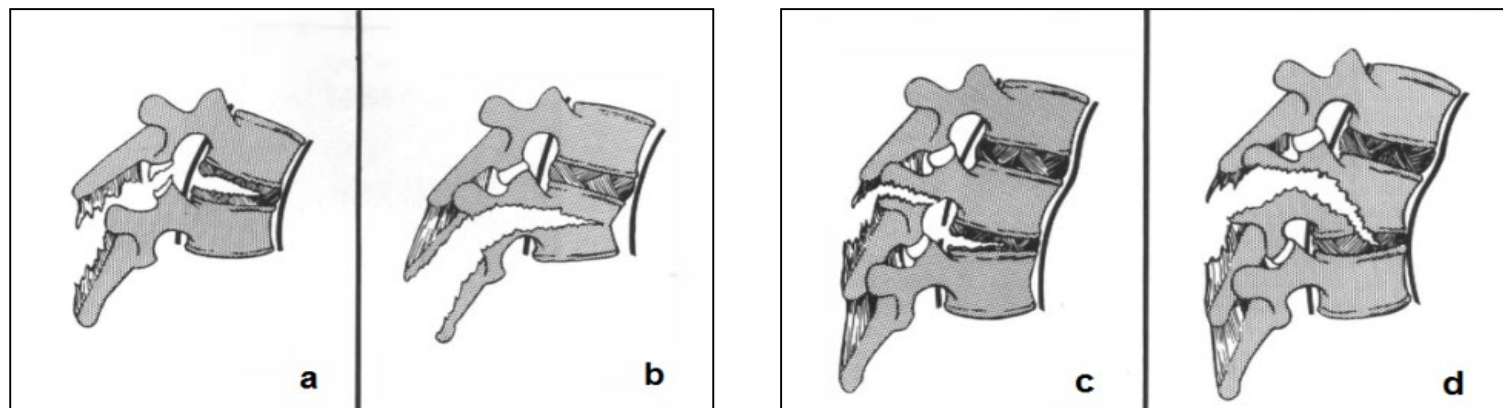
Częsta zmiana w obszarze połączenia piersiowo-lędźwiowego

Złamanie w wyniku hiperfleksji połączonej z siłą dystrykcyjną

Konsekwencje w postaci uszkodzenia więzadeł, złamania kości lub złamania-zwichnięcia kości

Przerwanie ciągłości więzadeł z przemieszczeniem stawów jest niestabilne

## 3.4. OBRAŻENIA SPOWODOWANE PASAMI BEZPIECZEŃSTWA



Rysunek 15. Klasyfikacja złamań pasów bezpieczeństwa. a: Czyste rozerwanie więzadła z przemieszczeniem. b: Złamanie szkieletowe z poziomym rozszczepieniem kości. c: Uszkodzenie tylnego kompleksu więzadłowego, szypuły i dysku. d: Uszkodzenie tylnego kompleksu więzadłowego, szypuły, trzonu i dysku. a i b to urazy na jednym poziomie. c i d to urazy na dwóch poziomach. Źródło: Yu WY. et al. 1986.

## B. Zmiany biomechaniczne kręgosłupa

# Część 4. Uwarunkowania biomechaniczne związane z interwencjami dotyczącymi kręgosłupa

## 4.1. INTERWENCJE W GÓRNYM ODCINKU KRĘGOSŁUPA SZYJNEGO

### Kompleks potyliczny C1-C2

- Najbardziej ruchoma część kręgosłupa szyjnego
- Ma największy udział w zginaniu i prostowaniu.

### Kompleks C1-C2

- Rotacja osiowa jako główny udział w ruchu

## 4.1. INTERWENCJE W GÓRNYM ODCINKU KRĘGOSŁUPA SZYJNEGO

### Połączenie potyliczno-szyjne

- Główne wskazanie do tej procedury: niestabilność połączenia czaszkowo-szyjnego.
- Zaburzenia takie jak uraz, nowotwór złośliwy, reumatoidalne zapalenie stawów, wady wrodzone, choroby zakaźne.

### Prewencja

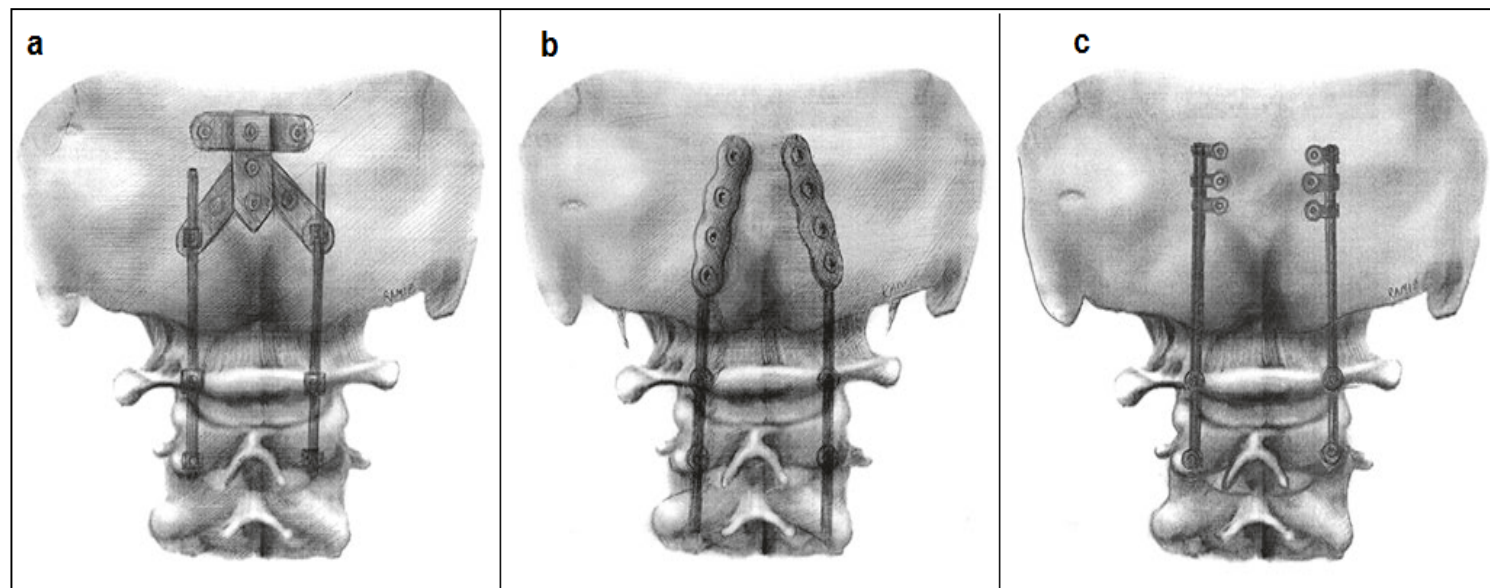
- Kompresja struktur nerwowych.
- Zniekształcenia szyjne
- Zmniejszenie bólu

### Komplikacje

- Ograniczenie ruchomości szyi.
- Dysnea lub dysfagia.



## 4.1. INTERWENCJE W GÓRNYM ODCINKU KRĘGOSŁUPA SZYJNEGO



Rysunek 16. Najbardziej powszechne konstrukcje oparte na śrubach. (a) Płytki potyliczne. (b) Pręty przegubowe z wbudowanym zakończeniem płytki potylicznej. (c) Łączniki oczkowe skierowane przyśrodkowo. Źródło: Ashafai NS. et al. 2019.



## 4.2. INTERWENCJE W DOLNYM ODCINKU KRĘGOSŁUPA SZYJNEGO

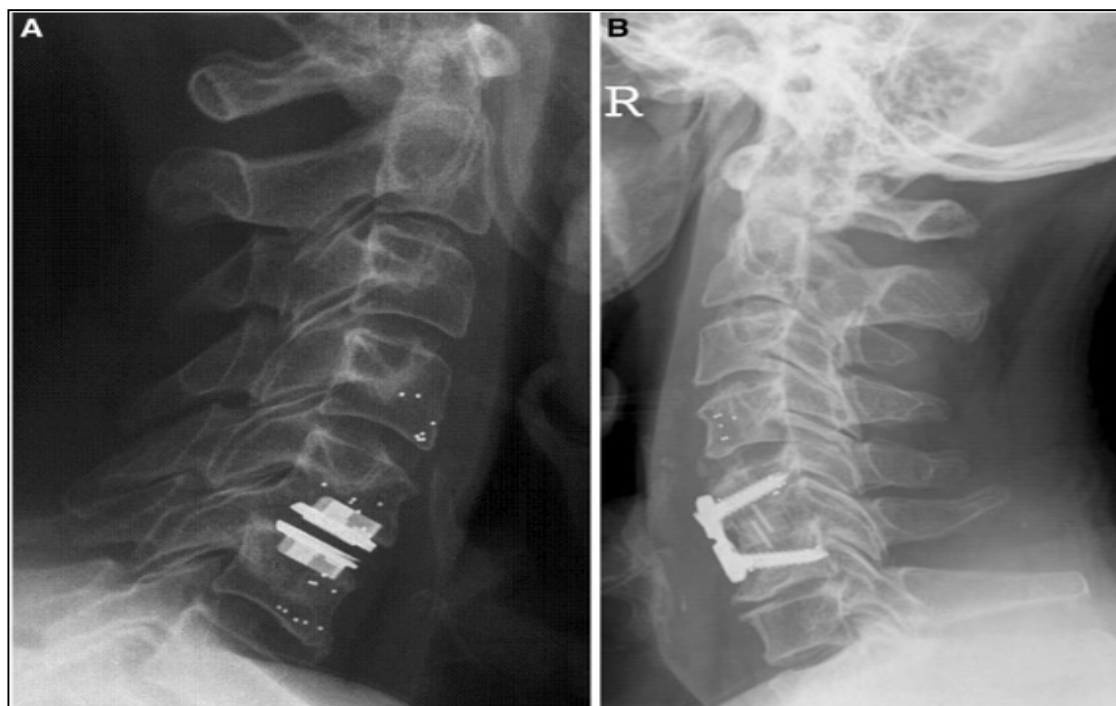
### Unieruchomienie lub wymiana stawu

- Może wpływać na sąsiednie poziomy z powodu zmian biomechanicznych.

### Doświadczenia badawcze

- Nie zaobserwowano różnicy w średnim ruchu segmentów między interwencjami (Nabhan A. i wsp.)
- U 25,6% pacjentów, u których wykonano przednie zespolenie kręgosłupa szyjnego, w ciągu 10 lat od operacji wystąpi nowa objawowa choroba w sąsiednim segmencie.

## 4.2. INTERWENCJE W DOLNYM ODCINKU KRĘGOSŁUPA SZYJNEGO



Rysunek 17. Zdjęcie RTG boczne kręgosłupa szyjnego przedstawiające markery tantalowe trzonów kręgów C4, C5 i C6. a - Wbudowane markery tantalowe po wymianie dysku. b - To samo z płytą tytanową. Źródło: Nabhan A. et al (2011).

## 4.3. INTERWENCJA W ODCINKU PIERSIOWYM I LĘDŹWIOWYM

### Połączenie kręgosłupa

- Poziom T12-L1 jest najczęściej stosowanym obszarem interwencji.
- Satysfakcjonująca technika krótkoterminowa.
- Długotrwałe trudności na sąsiednich poziomach.
- Objawowe zwyrodnienie jest jednym z najczęstszych powodów do dalszych operacji.

### Połączenie kręgosłupowo-miedniczne

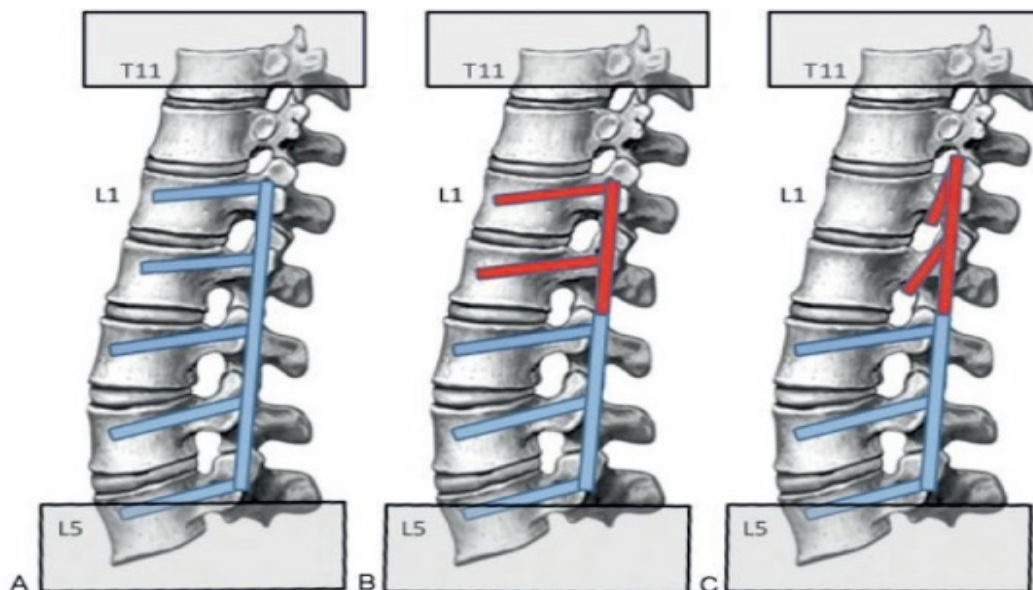
- Wpływa na obciążenie kręgosłupa.
- Jego związek z degeneracją krążków międzykręgowych i segmentów sąsiednich jest przedmiotem wielu dyskusji.
- Hipolordoza lędźwiowa jest niezależnym czynnikiem ryzyka progresji zwyrodnienia krążka międzykręgowego.

## 4.3. INTERWENCJA W ODCINKU PIERSIOWYM I LĘDŹWIOWYM

### Doświadczenia badawcze

- Badanie Se Jin Choi i wsp. (2018) sugeruje, że L4-5 i L5-S1 przyczyniają się do wydłużenia kręgosłupa i zgięcia bocznego ROM, ale nie odgrywają znaczącej roli w ruchach zgięcia kręgosłupa.
- Badanie Obid P. i wsp. (2017) określa utratę ruchomości segment po segmencie w trzech systemach instrumentacji dla zespolenia kręgosłupa lędźwiowego od T11 do L5.
- Nie udowodniono, że konstrukcje hybrydowe ograniczają ROM bardziej niż instrumentacja sztywna.

## 4.3. INTERWENCJA W ODCINKU PIERSIOWYM I LĘDŹWIOWYM



Rysunek 18. Schematyczny przegląd przedstawiający ustawienie trzech grup badawczych z badania Obid P. i wsp. (2017). (A) Grupa R: czteropoziomowa instrumentacja sztywna; (B) grupa D: dwupoziomowa instrumentacja sztywna (L3-L5) połączona z systemem Elaspine (Spinelab AG, Winterthur, Szwajcaria) (L1-L3); oraz (C) grupa H: dwupoziomowa instrumentacja sztywna (L3-L5) połączona z hakami laminarnymi (L1-L3).

## 5. KLUCZOWE ZAGADNIENIA

- Istnieją różne rodzaje urazów kręgosłupa szyjnego w zależności od kierunku i wielkości siły działającej na kręgosłup: zgięcie, wyprost, kompresja, dystrakcja, rotacja.
- Urazy górnego odcinka kręgosłupa szyjnego często prowadzą do śmierci (około 40%), a rodzaj urazu może spowodować uszkodzenie ważnych obszarów ośrodkowego układu nerwowego. Do najczęściej wymienianych urazów w literaturze należą: złamania kłykci kości potylicznej, zwichnięcie atlantowo-potyliczne, złamania atlasu, zwichnięcie atlanto-osiowe i złamania Axis.
- Urazy dolnego odcinka kręgosłupa szyjnego reprezentują szeroki wachlarz urazów i stopni niestabilności, z których najczęstsze są: złamania wybuchowe, złamania typu spadającej łzy, złamania rozszczepowe, przerwanie stawów międzykręgowych, złamanie wyrostka kolczystego i smgnięcie biczem

## 5. KLUCZOWE ZAGADNIENIA

- Duża różnica między kręgosłupem szyjnym a odcinkiem piersiowym i lędźwiowym polega na tym, że ten ostatni ma sztywność, której nie ma kręgosłup szyjny, więc mechanizmy urazów są między nimi bardzo różne.
- W odcinku piersiowym i lędźwiowym do najczęstszych urazów należą: złamania płytki czołowej, pęknięcia typu Burst, złamania klinowe i urazy spowodowane pasami bezpieczeństwa typowe dla połączenia piersiowo-lędźwiowego.
- Leczenie urazów kręgosłupa może być zachowawcze lub operacyjne, w zależności od ciężkości urazu i stabilności uszkodzonego odcinka kręgosłupa. Różne decyzje medyczne mogą mieć istotny wpływ na funkcjonalność, ponieważ będą powodować biomechaniczne zmiany w funkcjonowaniu kręgów w celu naprawy lub stabilizacji uszkodzenia.



## 5. KLUCZOWE ZAGADNIENIA

- W górnym odcinku kręgosłupa szyjnego techniki unieruchomienia mogą ograniczyć ruchomość szyjną do 40% całkowitego zgięcia-wyprostu szyjnego, a jeśli dotyczy to odcinka potylicznego-C1 i C2, ograniczenie może osiągnąć 60% całkowitej rotacji szyjnej i 10% całkowitego zgięcia boczego.
- W dolnym odcinku kręgosłupa szyjnego, poważniejsze interwencje, takie jak fuzja, niosą ze sobą schorzenia sąsiednich segmentów, wywołując naprężenia, obciążenia i ciśnienie śróddyskowe na poziomach sąsiadujących z miejscem fuzji.
- W odcinku piersiowym i lędźwiowym kręgosłupa poważniejsze interwencje również ograniczają ruchomość, stanowiąc krytyczne miejsca zespolenia dla utraty funkcji T11-L5, L4-L5 i L5-S1.



## 6. BIBLIOGRAFIA

1. Anderson P.A., and P.X. Montesano. Morphology and Treatment of Occipital Condyle Fractures. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1988 Jul; 13(7):731-6.
2. Altay M., Ozkurt B., Aktekin CN., Ozturk AM., Dogan O., Tabak A.Y. Treatment of unstable thoracolumbar junction burst fractures with short- or long-segment posterior fixation in magerl type a fractures. *Eur Spine J*. 2007 Aug; 16(8): 1145–1155.
3. Ashafai NS., Visocchi M., Wasik N. Occipitocervical Fusion: an updated review. *Acta Neurochir Suppl* 2019;125:247-252.
4. Bensch FV, Koivikko MP, Kiuru MJ, Koskinen SK. The incidence and distribution of burst fractures. *Emerg Radiol*. 2006;12:124–9.
5. Boughton OR, Bernard J, Szarko M (2015). Odontoid process fractures: the role of the ligaments in maintaining stability. A biomechanical, cadaveric study. *SICOT J*. 1: 11.
6. Cahueque M., Cobar A., Zuñiga C., Caldera G. Management of burst fractures in the thoracolumbar spine. *Journal of Orthopaedics* 13 (2016) 278–281.
7. Christiansen BA., Bouxsein ML. Biomechanics of Vertebral Fractures and the VertebralFracture Cascade. *Curr Osteoporos Rep* (2010) 8:198–204.
8. Comín M., Prat J., Soler-G C. et al. (1995) *Biomecánica del Raquis y Sistemas reparación*. 1º Edición, Instituto de Biomecánica de Valencia, España.
9. Curry WH., Pintar F.A., Doan N.B, Nguyen H.S., Eckardt G., Baisden J.L., Maiman D.J., Paskoff G.R., Shender B.S., Stemper B.D. Lumbar spine endplate fractures: Biomechanical evaluation and clinical considerations through experimental induction of injury. *J Orthop Res*. 2016 Jun;34(6):1084-91.

## 6. BIBLIOGRAPHY

10. Cusick J.F. and Yoganandan N. Biomechanics of the cervical spine 4: Major Injuries. *Clinical Biomechanics* Vol 17, Issue 1 January 2002, Pages 1-20.
11. Denis F. The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. *Spine*. 1983;8:817–31.
12. Dickman C.A., Greene K.A., Sonntag V.K. Injuries Involving the transverse atlantal ligament: Classification and treatment guidelines based upon experience with 39 injuries. *Neurosurgery* 1996 Jan; 38(1):44-50.
13. Dowdell J., Kim J., Overley S., Hecht A. Biomechanics and common mechanisms of injury of the cervical spine. *Hand Clin Neurol* 2018;158:337-344.
14. Ghobrial GM., Lavelle W.F., Florman J.E., Riew K.D., Levi A.D. Symptomatic adjacent level disease requiring surgery: analysis of 10-year results from a prospective randomized, clinical trial comparing cervical disc arthroplasty to anterior cervical fusion. *Neurosurgery* 2019 Feb 1;84(2):347-354.
15. Gonzáles-Montané J.L. What can CT and MRI add to the assessment of symptomatic vertebral compression fracture in osteoporotic patients? From Congress ECR 2014, Number of poster C-0960. DOI: 10.1594/ecr2014/C-0960.
16. Hall GC., Kinsman MJ., Nazar RG., Hruska RT., Mansfield KJ., Boakye M., Rahme R. Atlanto-occipital dislocation. *World J Orthop*. 2015 Mar 18;6(2):236-43.
17. Heary R.F., Sanjeev K. Decision-making in burst fractures of the thoracolumbar and lumbar spine. *Indian J Orthop*. 2007 Oct-Dec; 41 (4): 268-276.

## 6. BIBLIOGRAPHY

18. Hilibrand A.S., Carlson G.D., Palumbo M.A., Jones P.K., Bohlman H.H. Radiculopathy and myelopathy at segments adjacent to the site of a previous anterior cervical arthrodesis. *J Bone Joint Surg Am.* 1999 Apr;81(4):519-28.
19. Izeki M., Neo M., Takemoto M., Fujibayashi S., Ito H., Nagal K., Matsuda S. The O-C2 angle established at occipito-cervical fusion dictates the patient's destiny in terms of postoperative dyspnea and/or dysphagia. *Eur Spine J* (2014) 23:328-336.
20. Kaneoka K, Ono K, Inami S, et al. The human cervical spine motion during rear impact collisions: a proposed cervical facet injury mechanism during whiplash trauma. *J Whipl Relat Disord* 2002; 1(1): 85-97.
21. Lei Li, Wen-Fei Liu, Hong-Kun Jiang, Yun-Peng Li. Biomechanical evaluation of four different posterior screw and rod fixation techniques for the treatment of the odontoid fractures. *Int J Clin Exp Med.* 2015;8(6):8571-8580.
22. Luan F, Yang KH, Deng B, et al. Qualitative analysis of neck kinematics during low-speed rear-end impact. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2000;15(9):649-657.
23. Martín-Ferrer S. High cervical spine injuries: classification, therapeutic indications, and surgical approaches: 286 consecutive cases. *Neurocirugia (Astur).* 2006 Oct;17(5):391-419.
24. Miyata M., Neo M., Fujibayashi S., Ito H. Takemoto M., Nakamura T. O-C2 angle as a predictor of dyspnea and/or dysphagia after occipitocervical fusion. *Spine (Phila Pa 1976).* 2009 Jan 15;34(2):184-8.

## 6. BIBLIOGRAPHY

25. Nabhan A., Ishak B., Steudel W.L., Ramadhan S., Steimer O. Assessment of adjacent-segment mobility after cervical disc replacement versus fusion: RCT with 1 year's results. *Eur Spine J* (2011) 20:934-941.
26. Nightingale, R, Myers, BS, and Yoganandan, N, Biomechanical Aspects of Cervical Spine Trauma, in *Accidental Injury: Biomechanics and Prevention*, N. Yoganandan, A. Naham, and J.W. Melvin, Editors. 2014, Springer: New York, NY.
27. Obid P., Danyali R., Kueny R., Huber G., Reichl M., Richter A., Niemeyer T., Morlock M., Püschel K., Übeyli H. Hybrid Instrumentation in Lumbar Spinal Fusion: A Biomechanical Evaluation of three different instrumentation techniques. *Global Spine J*. 2017 Feb;7(1):47-53.
28. Pertersilge CA., Emery SE. Thoracolumbar burst fracture: Evaluating stability. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI* Volume 17, Issue 2, April 1996, Pages 105-113.
29. Pryputniewicz D.M. and Hadley M.N. Axis Fractures. *Neurosurgery* 2010 Mar;66(3 Suppl):68-82.
30. Rihn JA, Fisher C, Harrop J et al. (2010). Assessment of the posterior ligamentous complex following acute cervical spine trauma. *J Bone Joint Surg Am*. 92: 583–589.
31. Ryba L., Cienciala J., Chaloupka R., Repko M., Vyskocil R. Injury of Upper Cervical Spine. *Soud. Lek* 2016;61(2):20-5.
32. Se Jin Choi, Ji Won Moon, Dalsung Ryu, Chang Hyun Oh, Seung Hwan Yoon. Range of Motion According to the fusion level after lumbar spine fusion: A retrospective study. *Nerve*. 2018;4(2):55-59.

## 6. BIBLIOGRAPHY

33. Spitzer WO, Skovron ML, Salmi LR, et al. Scientific mono-graph of the Quebec Task Force on Whiplash-Associated Disorders:redefining “whiplash” and its management. Spine 1995; 20(8Suppl): 1S-73S.
34. Torreti J.A. nd Sengupta D.K. Cervical Spine Trauma. Indian J Orthop 2007 Oct;41(4):255-67.
35. Traynelis, V.C., Marano, G.D., Dunker, R.O., Kaufman,H.H.: Taumatic atlanto-occipital dislocation: Case report. J Neurosurg 1986; 65: 863-870.
36. Tuli S., Charles H.T., Fehlings M.G., Mackay M. Occipital Condyle Fractures. Neurosurgery, Volume 41, Issue 2, August 1997, Pages 368–377.
37. Waseem M., Upadhyay R., Al-Husayni H., and Agyare S. Occipital condyle fracture in a patient with neck pain. Int J Emerg Med. 2014; 7:5.
38. Wenning KE. and Hoffmann M.F. Does isolated atlantoaxial fusion resul in better clinical outcome compared to occipitocervical fusion? Journal of Orthoedic Surgery and Research (2020) 15:8.
39. Yang S.Y., Boniello A.J., Poorman C.E., Chang A.L., Wang S., Passias P.G. A review of the diagnosis and treatment of atlantoaxial dislocations. Global Spine J. 2014 Aug; 4(3): 197–210.
40. Yu WY, Siu CM. Seat belt injuries of the lumbar spine--stable or unstable? Paraplegia. 1989 Dec;27(6):450-6.



Wsparcie Komisji Europejskiej dla produkcji tej publikacji nie stanowi poparcia dla treści, które odzwierciedlają jedynie poglądy autorów, a Komisja nie może zostać pociągnięta do odpowiedzialności za jakiegokolwiek wykorzystanie informacji w niej zawartych.

