

*Romuald Będziński, Celina Pezowicz<sup>1</sup>  
Janusz Mstowski, Lechosław F. Ciupik<sup>2</sup>*

## **Mechaniczne aspekty stabilizacji kręgosłupa szyjnego**

***Streszczenie:** Przedstawiono kryteria i wymogi stawiane stabilizatorom szyjnym. Dokonano analizy czynników wpływających na stabilność odcinka szyjnego kręgosłupa. Pokazano mechanizmy urazów, przyczyny powstawania i metody stabilizacji, dokonując porównania różnych systemów przeznaczonych do operacyjnego leczenia kręgosłupa w odcinku szyjnym.*

### **WSTĘP**

Kręgosłup u człowieka spełnia rolę podporową - statyczną, ruchową - dynamiczną i ochronę dla rdzenia kręgowego. Wielokręgową, segmentarną budowę kręgosłupa oraz ścisłe powiązanie zadań statycznych i dynamicznych powodują, że przy wszelkiego rodzaju ruchach, nagłych obciążeniach i przeciążeniach może on spełniać rolę amortyzatora, który w sposób płynny „wygasza” gwałtownie działające siły obciążenia.

To „wygaszanie” siły umożliwia wielokręgową budowę kręgosłupa, a szczególnie istnienie sprężystych krążków międzykręgowych, jąder miażdżystych, aparatu więzadłowego oraz układu mięśni, szczególnie krótkich, spełniających rolę uczynionych więzadeł [6].

### **URAZY ODCINKA SZYJNEGO KRĘGOSŁUPA**

Uszkodzenia struktur odcinka szyjnego kręgosłupa może zachodzić w wyniku

trzech podstawowych mechanizmów:

- zgięciowe,
- wyprostne (przeprostne),
- zgnieceniuowe.

Aby pokazać złożoność problemu przedstawiono szczegółowe rozróżnienie uszkodzeń powstających w odcinku szyjnym - tab.1.

### **PRZECIĄŻENIE I STABILNOŚĆ**

#### **1. Ruchliwość odcinka szyjnego**

Największy zakres wykonywanych ruchów odbywa się w części szyjnej kręgosłupa co wiąże się charakterystyczną budową tego odcinka

W prawie wszystkich ruchach głowy oprócz stawów głowy bierze udział również cały kręgosłup szyjny, zwiększając tym samym zakres tych ruchów. Połączenie głowy z kręgosłupem opiera się na sześciu stawach. Tego rodzaju budowa jest korzystna zarówno dla utrwalania połączenia głowy z kręgosłupem i wzmocnienia równowagi głowy, jak i dla precyzji wykonywanych ruchów.

---

<sup>1</sup> Romuald Będziński, Celina Pezowicz, Politechnika Wroclawska. Kierownik Zakładu: Prof. dr hab. inż. R. Będziński.

<sup>2</sup> Lechosław Ciupik, Janusz Mstowski, LfC Zielona Góra, Prezes. dr inż. L. Ciupik

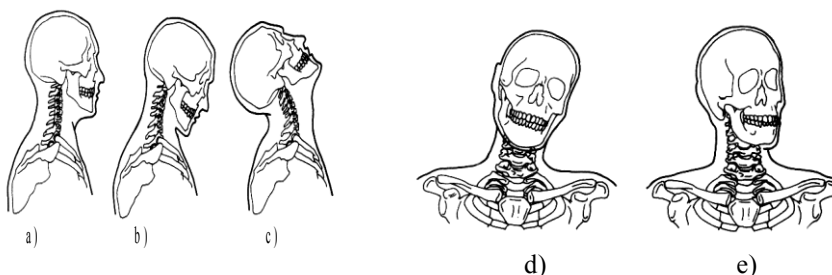
## 2. Wpływ przeciążenia na stabilności

Stosunkowo duża ruchliwość odcinka szyjnego w stosunku do reszty kręgosłupa jest czynnikiem, który naraża część szyjną na zwiększoną urazowość. Dodatkowo

możliwości różnego sposobu obciążenia tego odcinka w powiązaniu z jego możliwościami ruchowymi sprzyja powstawaniu uszkodzeń i zniszczeń rys.1.

Tabela 1. Uszkodzenia kręgosłupa szyjnego: mechanizmy urazu [4].

Ściskanie (pionowe ściskanie)	Złamanie Jeffersona
	Złamanie wieloodłamowe atlasu
	Złamanie zgnieceniowe trzonu
Ściskanie - zgięcie do przodu	Złamanie zmiżdzeniowe (wybuchowe)
	Sklinowacenie trzonu
	Zwichnięcie hiperzgięciowe
	Jednostronne przemieszczenie wyrostka
	Dwustronne przemieszczenie wyrostka
Ściskanie - przeprost	Złamanie „kapiąca łza”
	Złamanie tylnych elementów kręgu
Rozciąganie	Przemieszczenie stawu górnego
Rozciąganie - przeprost	Rozerwanie więzadła podłużnego przedniego
	Rozerwanie dysku
Rozciąganie - zgięcie do przodu	Złamanie poprzeczne trzonu
	Złamanie wisielcze (złamanie kata)
	Złamanie „kapiąca łza”
Rotacja (obrót)	Dwustronne przemieszczenie wyrostków
Ścinanie poprzeczne	Rotacyjne przemieszczenie stawu dolnego
	Przednie i tylne podwichnięcie stawu dolnego
Zgięcie boczne	Złamanie zęba obrotnika
	Poprzeczne pęknięcie więzadeł
	Rozerwanie rdzenia kręgowego
	Poprzeczny rozwój złamania



Rys.1. Podstawowe ruchy kręgosłupa szyjnego: a) pozycja naturalna (swobodna), b) zgięcie do przodu, c) zgięcie do tyłu (przeprost), d) zgięcie boczne, e) rotacja - skręcanie. [4]

Jeżeli w takim układzie dojdzie do przeciążenia to zwiększa się możliwość urazu części szyjnej. W wyniku działania sił zewnętrznych i wewnętrznych na odcinek szyjny może dojść do powstania przeciążenia, które w zależności od mechanizmu tworzenia się dzielimy na:

1. Mechanizm przeciążenia doraźnego (traumatologicznego) - ma podłoże urazowe, związane z doraźnym przekroczeniem wartości granicznej wytrzymałości struktur kostnych kręgosłupa; np. wypadki lokomocyjne, upadki z wysokości.

## SPOSOBY PRZYWRACANIA STABILNOŚCI

Zarówno stabilne jak i niestabilne uszkodzenia odcinka szyjnego kręgosłupa spowodowane przeciążeniem wymagają leczenia.

W urazach stabilnych często stosowane jest leczenie zachowawcze.

Jednakże w urazach z zaistniałą niestabilnością (choć również w niektórych urazach stabilnych) wymagane jest leczenie operacyjne przy wykorzystaniu wszczepów (wszczepy kostne allo- i auto-



Rys. 2. Mechaniczny opis obciążeń odcinka szyjnego, [4]

2. Mechanizm przeciążenia zmęczeniowego - jest charakterystyczny dla odcinka szyjnego, w którym działają długotrwałe cykliczne obciążenia naruszające pierwotną stabilność kręgosłupa, prowadzące do uszkodzenia nawet gdy nie przekroczyły one doraźnej wytrzymałości struktur kostnych [3].

Skutkiem przeciążenia kręgosłupa jest zwykle takie uszkodzenie, które prowadzi do jego destabilizacji. Wiąże się to z utratą zdolności kręgosłupa do przenoszenia obciążeń wynikających z jego fizjologii, a także ze zmianami strukturalnymi, które mogą spowodować rozwój stanów deformacyjnych czy uszkodzenie lub podrażnienie rdzenia kręgowego.

genne, wszczepy ceramiczne) oraz implantów metalowych.

Zarówno wszczepom jak i implantom stosowanym w leczeniu operacyjnym, stawia się pewne podstawowe zadania, z punktu widzenia mechaniki są to:

- zachowanie ciągłości odkształceń,
- zachowanie odpowiedniej sztywności stabilizowanego układu (w miarę możliwości zbliżoną do sztywności kręgosłupa zdrowego).

Natomiast podstawowe zadania jakie stawia klinika to:

- likwidacja dolegliwości bólowych,
- przywrócenie wybranych funkcji kręgosłupa,
- odbarczenie rdzenia kręgowego od ucisku.

Obecnie coraz szerzej w operacyjnym leczeniu urazów odcinka szyjnego kręgo-

słupa stosowane są implanty metalowe typu płytki kostne, pręty, ramki. Dają one możliwość wszechstronnego zastosowania przy różnorodnych uszkodzeniach struktur kręgosłupowych (kostnych, więzadłowo-mięśniowych) zarówno z dostępu przedniego jak i tylnego. Należy tu oczywiście zaznaczyć, że inne jest podejście przy implantowaniu wykonywanym z dostępu przedniego (płytki), który poza podstawowymi zadaniami umożliwia dodatkową ochronę tętnic szyjnych. Inne podejście jest zaś przy stabilizacji z dostępu tylnego (pręty, ramki), które daje możliwość ochrony struktur rdzenia kręgowego.

Stabilizacja z dostępu przedniego wykonywana jest między innymi przy resekcji krążka międzykręgowego, złamaniach i zmiążdżeniach elementów przedniej kolumny nośnej kręgosłupa. Postępowanie takie stosuje się także w zmianach onkologicznych, które wymagają wypełnienia przestrzeni po zresekowanych częściach kręgosłupa, wszczepami lub elementami typu tuleja dystansowa (wspornik). Przy czym wymagane jest tu jednocześnie zabezpieczenie płytkami kostnymi.

Przy uszkodzeniach tylnych zespołów

używany jest w zależności od stopnia uszkodzenia i powstałej niestabilności.

## ANALIZA SYSTEMÓW STABILIZACJI KRĘGOSŁUPA SZYJNEGO

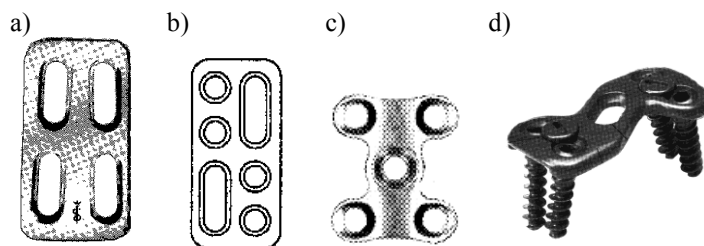
Obecnie na rynku występuje mnogość różnego rodzaju systemów stabilizacji odcinka szyjnego kręgosłupa, co stwarza czasem trudności w wyborze odpowiedniego rozwiązania konstrukcyjnego.

Podjęto więc analizę istniejących stabilizatorów szyjnych pod względem ich konstrukcji, obszaru stabilizacji, dojścia operacyjnego, jak również leczonych chorób, czy wieku pacjenta.

Ze względu na konstrukcję stabilizatory dzielą się na:

- płytkowe,
- prętowe, w tym z hakami lub śrubami/wkrętami,
- płytkowo - prętowe (mieszane),
- ramowe,
- drutowe.

Jest to podział odzwierciedlający obraz tych stabilizatorów. Implanty płytkowe są to płaskie płytki generalnie



Rys. 3. Płytki szyjne implantowane z dostępu przedniego:  
 a) płytka Caspara - Aesculap, b) płytka szyjna DERO - LFC,  
 c) H - płytka - Synthes, f) Orion Sofamor- Danek.

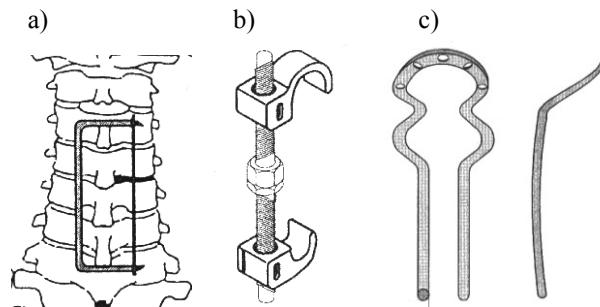
kostnych i więzadłowych (leczenie z dostępu tylnego) stosuje się elementy spinające takie jak: klamry, druty, systemy prętowe mocowane za pomocą haków i wkrętów kostnych. Rodzaj stabilizatora

w kształcie prostokątnym. Jednakże w zależności od producenta płytki przybierają różne postacie, od najprostszych prostokątnych - Dero - LfC (rys.3b), trapezoidalnych - Aesculap (rys.3a), do

przybierających kształt litery „H” - Synthes (rys.3c), „S” - Sofamor-Danek (rys.3d). Stabilizatory płytkowe są implantowane z dostępu przedniego, dlatego też często profilowane w płaszczyźnie poprzecznej dla lepszego dopasowania do kształtu anatomicznego przedniej części trzonu do której są mocowane.

do C<sub>1</sub> i C<sub>2</sub> mniejszych do C<sub>3</sub>-C<sub>7</sub>. Charakterystycznym dla zestawu jest to, że daje dodatkową możliwość mocowania hakami lub wkrętami do potylicy i łączenia całości z niżej położonymi segmentami kręgosłupa w układzie M-DERO-P-DERO-DERO.

Innym rozwiązaniem jest stabilizacja



Rys.4. Systemy ramowe i prętowe: a) Neck Frame DERO - LfC, b) Stabilizator śrubowy kompresyjno-dystrykcyjny DERO - LfC, c) Wspornik potyliczno-szyjny DERO - LfC.

Stabilizatory prętowe to przede wszystkim elementy prętowe mocowane do kręgosłupa za pomocą haków lub śrub. Pręty mogą być gładkie, moletowne lub z naciętym gwintem (stabilizator śrubowy kompresyjno-dystrykcyjny - DERO-LfC, rys.4b). Implantowane są z dostępu tylnego w związku z czym są wykorzystywane również do stabilizacji odcinka potyliczno-szyjnego czaszki (wspornik potyliczno-szyjny - DERO-LfC - rys.4c). Pręty do tego typu stabilizacji mają kształt przystosowany do mocowania w części potylicznej czaszki w postaci profilowanego płaskiego wspornika mocowanego wkrętami kostnymi do, CCD Cervical - Sofamor-Danek).

Ponadto do korekcji i stabilizacji szyji powstał unikatowy zestaw prętowo-hakowy M-DERO (mini-DERO) wchodzący w skład systemu DERO, który bazują na profilowanym pręcie  $\phi 4$  oraz laminarnych hakach szyjnych odpowiednio

(z dostępu tylnego) implantem typu ramka Luque - rys.4a. Ten prosty stabilizator przeznaczony jest do leczenia niezbyt ciężkich urazów kręgosłupa, jednakże wymagających interwencji chirurgicznej.

Spotyka się także zespolenie elementów tylnych kręgosłupa przy pomocy drutu ortopedycznego lub innych rozwiązań typu „pętlowego”. Sposób ten stanowi prostą stabilizację bez dużej ingerencji elementów metalowych w tkankę żywą.

#### OCENA UŻYTECZNOŚCI STABILIZATORÓW KRĘGOSŁUPA SZYJNEGO

Stabilizatory typu ramkowego (np. ramka Luque, Neck Frame - LfC) są implantami stosowanymi do wąskiej grupy urazów. Ich dużą zaletą jest na pewno prosta technika montażu i zawężona do niezbędnego minimum ilość elementów (ramka, drut ortopedyczny). Ujemną cechą jest ograniczenie jego zastosowania

tylko do lekkich urazów. Wadą może być także to, że przy oplataniu węziny drut przeciągany jest przez kanał kręgowy, a więc w pobliżu rdzenia kręgowego co może wiązać się z ryzykiem naruszenia układu nerwowego. Mocowanie drutu wokół węziny czy wyrostków kołczyстых może powodować, szczególnie w trakcie ich obciążania, niekorzystne zjawisko wrzynania się drutu w kość. Tak więc stabilizatory ramkowe mimo dużej zalety jaką jest ich prostota posiadają wady, które wymagałyby wprowadzenia pewnych zmian łagodzących ich skutki.

Płytkowe systemy stabilizujące dają możliwość leczenia stabilnych oraz niestabilnych urazów kręgosłupa szyjnego. Technika ta należy do tych nielicznych, które dają możliwość wykorzystania przeszczepów kostnych przy leczeniu uszkodzeń odcinak szyjnego, co przedstawia rysunek 5. Fragment przeszczepu kostnego mocowany jest za pomocą śrub do płytki w jej części środkowej i tak przygotowany stabilizator mocuje się do dwóch sąsiednich, zdrowych kręgów.

Dużą wadą stabilizatorów płytkowych jest obłuzowanie wkrętów kostnych. Usztywnienie kręgosłupa powoduje unieruchomienie najczęściej 2 segmentów ruchowych, na które składa się 6 stawów o złożonych możliwościach wielopłaszczyznowych ruchów. Powoduje to wystąpienie mikroruchów w miejscu zespolenia i szybkie obłuzowanie implantów płytkowych [5].

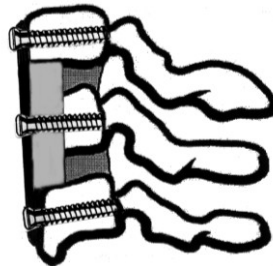
Najczęstsze przyczyny obłuzowań stabilizatorów płytkowych to:

1. Zastosowanie zbyt krótkich lub zbyt cienkich wkrętów.
2. Przyłożenie nadmiernej siły w trakcie implantowania śrub.
3. Brak zachowania równowagi naprężeń ponieważ osteosynteza płytki nie była

wykonana w jednej płaszczyźnie z powierzchnią trzonu kręgu.

4. Błędne zamocowanie wkrętu kostnego: w krążku międzykręgowym, bez oparcia wkrętu na tylnej korówce trzonu, pozostawienie przestrzeni między płytką a powierzchnią trzonu.
5. Zły stan tkanki kostnej (np. osteoporoza).
6. Przedwczesne działanie sił na połączenie, które jest niedostatecznie wyleczone.
7. Infekcje.
8. Przebudowa (remodeling oraz shielding)

Systemy stabilizacji prętowej implantowne z dostępu tylnego dają możliwość wykonania dystrakcji i kompresji, czego nie można uzyskać innymi implantami używanymi do leczenia uszkodzeń odcinka



Rys.5. Sposób odtwarzania fragmentu zniszczonego elementu kręgu przy użyciu przeszczepu.

ka szyjnego kręgosłupa.

Pręt o przekroju kołowym daje więcej wariantów konfiguracji układu niż płytka. Głównymi elementami tych stabilizatorów jest pręt nośny, na którym mocowane są haki oraz łączniki poprzeczne. Zastosowanie haków do łączenia pręta z kręgosłupem pozwala utrzymać pręt z dala od tkanki kostnej, eliminując ucisk tkanek i zagrożenie powstania martwicy.

Instrumentarium to umożliwia także odtworzenie naturalnej krzywizny odcinka

szyjnego, dzięki możliwości kształtowania prętów nośnych.

W praktyce klinicznej przeważa zwyczaj stosowania stabilizacji kręgosłupa szyjnego z dostępu przedniego. Wynika to między innymi z bezpieczeństwa prowadzonego zabiegu jak i możliwości uzyskania lepszej stabilizacji leczonego odcinka.

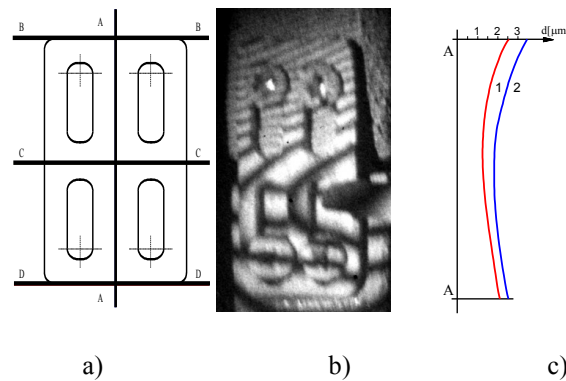
Zachowanie ciągłości odkształceń w przypadku implantu stwarza szansę, że nie powstanie złamanie poza tym implantem. Dlatego ważną staje się identyfikacja obciążeń czy też naprężeń i odkształceń wywoływanych przez stabilizatory. Identyfikacja taka możliwa jest do uzyskania dzięki badaniom doświadczalnym. Najszersze zastosowanie w metodach eksperymentalnej oceny przemieszczeń i odkształceń znajdują takie techniki jak: elastooptyka, tensometria oporowa, interferometria holograficzna i fotografia plamkowa. Często stosuje się także metodę elementów skończonych [1]. Przy czym

każda z wymienionych metod daje odpowiedź na inne pytanie.

Stosowanie różnego rodzaju implantów, wszczepów kostnych powoduje, że bardzo istotne stają się odpowiednie relacje odkształceniowe, naprężeniowe, warunkujące prawidłową współpracę wszczepu i kości [1]. To natomiast zależy od implantów stosowanych do stabilizacji.

Dlatego ważnym aspektem w rozwoju nowych systemów stabilizacji jest ich doświadczalna weryfikacja. Przykładem eksperymentalnej oceny implantu jest badanie które miało na celu ocenę wpływu implantu płytkowego na stabilność. W badaniach wykorzystano metodę interferometrii holograficznej, która jest bezdotykową metodą pomiaru przemieszczeń o wysokiej czułości, przedstawiającą pełny obraz badanego obiektu [2].

Wyniki badań są pewnym wskazaniem do sposobu implantowania stabilizatora jak i modyfikacji jego sztywności.



Rys. 6. Schematy: a) badana płytka, b) interferogram holograficzny dla ściskania, c) wykres przemieszczeń powstających w trakcie ściskania, [2]

#### KRYTERIA I WYMOGI STAWIANE STABILIZATOROM SZYJNYM

Leczenie operacyjne uszkodzeń kręgosłupa powinno spełniać trzy podstawowe wymagania:

- zapewnić, przez odbarczenie, takie warunki aby rdzeń i korzenie nerwowe funkcjonowały w sposób normalny,
- odtworzyć w sposób najbardziej zbliżony do fizjologicznego struktury anato-

miczne kręgosłupa ze szczególnym uwzględnieniem kanału kręgowego,

- przywrócić stabilność w uszkodzonym segmencie ruchowym kręgosłupa.

Wśród istniejących wielu systemów wewnętrznej stabilizacji kręgosłupa szyjnego żaden nie spełnia wszystkich wymogów [3].

Przeprowadzona analiza jednostek chorobowych wymagających leczenia implantami oraz analiza istniejących systemów stabilizacji odcinka szyjnego kręgosłupa pozwoliła na określenie pewnych kryteriów jakim powinien spełniać stabilizator:

- ◆ Powodować możliwie minimalne uszkodzenia i minimalizować uciskanie tkanek miękkich elementami stabilizatora.
  - ◆ Posiadać takie wymiary geometryczne by nie drażnić cienkiej warstwy tkanki miękkiej szyi.
  - ◆ Nie powodować wzrostu sztywności stabilizowanego odcinka ruchowego.
  - ◆ Stabilizować możliwie krótkie odcinki.
  - ◆ Charakteryzować się wysoką wytrzymałością mechaniczną (statyczną i zmęczeniową poszczególnych elementów, zmęczeniową połączeń stabilizatora).
  - ◆ Stwarzać warunki do pełnego zrrostu-spondylodezy.
  - ◆ Posiadać odpowiednie zabezpieczenia przed możliwością destabilizacji.
  - ◆ Uwzględnić dostęp operacyjny.
  - ◆ Charakteryzować się odpowiednią powierzchnią styku.
  - ◆ Posiadać prostą procedurę implantowania.
  - ◆ Charakteryzować się najmniejszą liczbą elementów stabilizatora o największej funkcjonalności.
- ◆ Stabilizator winien być uniwersalny:

- ⇒ posiadać możliwości korekcyjne w zakresie dystrakcji, kompresji, derotacji,
- ⇒ stabilizować dowolny odcinek szyi,
- ⇒ stabilizować potylicę z szyją i odcinek szyjny z piersiowym,
- ⇒ elementy stabilizatora winny stanowić łatwo zestawialny układ dostosowany do funkcji i anatomii,
- ⇒ posiadać zestaw prostych wielofunkcyjnych narzędzi chirurgicznych.
- ◆ Wykonywany z materiałów o małym współczynniku pochłaniania promieniowania rentgenowskiego (przenikalność radiologiczna), dostosowany do współcześnie obowiązujących technik diagnostycznych, w tym MRI.

## Piśmiennictwo

1. **Będziński R.**, *Biomechanika Inżynierska Zagadnienia Wybrane*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1997.
2. **Będziński R., Pezowicz C.**, *Techniczne uwarunkowania stabilizacji kręgosłupa szyjnego człowieka*, Szkoła Biomechaniki, Poznań 1996.
3. **Będziński R., Wall A.**, *Wybrane zagadnienia biomechaniki kręgosłupa w aspekcie stabilizacji*, Uniwersalny System korekcyjno - stabilizujący DERO do operacyjnego leczenia kręgosłupa, LfC Zielona Góra 1995.
4. *Head and Neck Injury*, Edit by Dr Levine R. S., SAE P - 276, Society of Automotive Engineers, USA 1994.
5. **M. Paściak, J. Doniec**, *Stabilizacja przednia i tylna w urazach kręgosłupa szyjnego*, Uniwersalny System korekcyjno - stabilizujący DERO do operacyjnego leczenia kręgosłupa, LfC Zielona Góra 1995.
6. *Traumatologia narządu ruchu*, pod red. **D. Tylman, A. Dziak**, PZWL 1996.
7. Prospekty i katalogi firm.



