



# **JAKIE CECHY POWINIEN POSIADAĆ TWARDZIEL – CZYLI RZECZ O WŁASNOŚCIACH BIOMATERIAŁÓW**

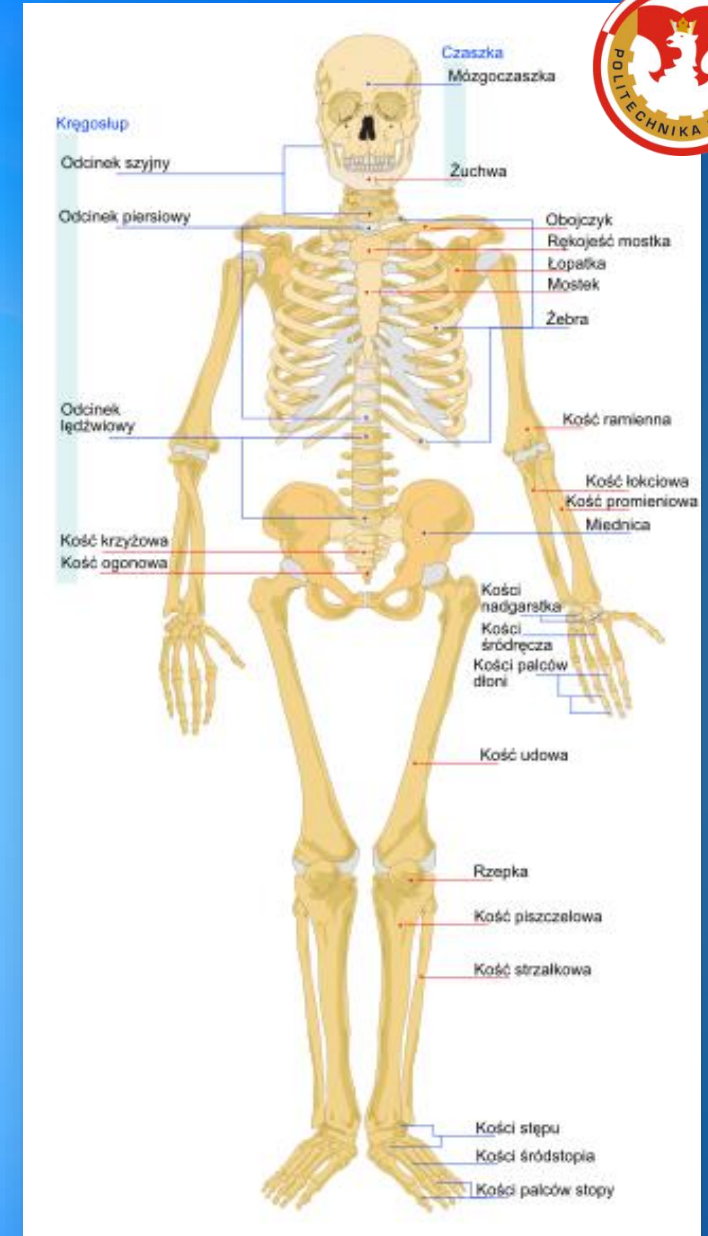


# UKŁAD KOSTNY CZŁOWIEKA



U dorosłego człowieka szkielet składa się z **206** kości – liczba ta jest większa u dzieci ze względu na wiele punktów kostnienia (według Reichera: 356 u 14-latka) i spada dopiero po połączeniu się np. trzonów z nasadami. U starszych ludzi kości może być mniej niż 206 ze względu na zrastanie kości czaszki.

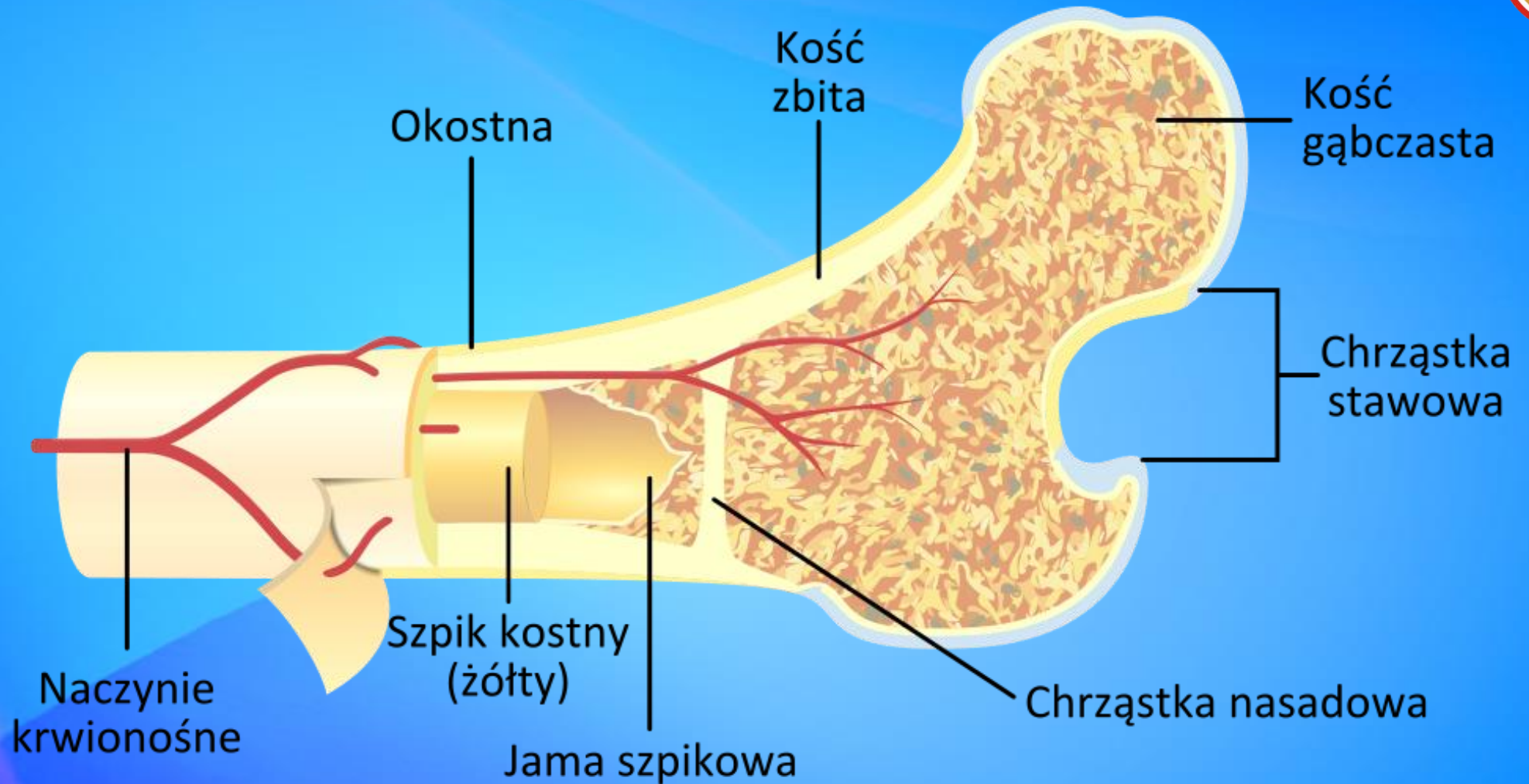
Średnia waga szkieletu kobiet to 10 kg i 12 kg dla mężczyzn.



Źródło: Reicher N., i inni. *Anatomia ogólna : kości, stawy i więzadła, mięśnie*. Warszawa: Wydaw. Lekarskie PZWL, 2003, s. 202. ISBN 83-200-2877-9.



# BUDOWA KOŚCI

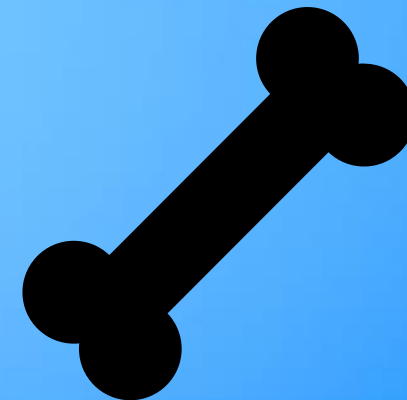


# KOŚĆ - BIOMATERIAŁ



Kości zawierają w swojej budowie osteoblasty zbudowane w 90% z hydroksyapatytu które regenerują złamania oraz pęknięcia, a osteoklasty rozpuszczają kość, nadając jej kształt.

Natomiast hydroksyapatyt jest kryształem o budowie  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  nieorganicznym składnikiem kości i zębów. Stanowi w nich rusztowanie zapewniające mechaniczne właściwości, odgrywa ważną rolę w odbudowie struktur kostnych, stymulując ich rozwój.



# PODSTAWOWE FUNKCJE

Podstawowymi funkcjami kości są:

- ochrona narządów głębiej leżących (czaszka chroni mózg, klatka piersiowa chroni serce i płuca, miednica chroni narządy rozrodcze)
- bierny narząd ruchu – wsparcie dla mięśni – kości kończyn i obręczy: barkowej i miednicznej
- magazyn jonów wapniowych i fosforanowych w ustroju i udział w homeostazie
- pośrednio krwiotwórcza (w kościach znajduje się szpik kostny).



# CECHY FIZYCZNE



Organiczne podłoże nadaje kości dużą sprężystość, a zawartość soli wapnia czyni ją również bardzo wytrzymałą na ściskanie i rozciąganie. Wytrzymałość substancji kostnej na rozciąganie jest przy tym mniejsza od wytrzymałości na ściskanie. Na zginanie kość jest znacznie mniej odporna. Przykładowe średnie własności mechaniczne części zbitej ludzkiej kości udowej, reprezentatywne dla grupy dorosłych ludzi, są następujące [1, 2]:

- wytrzymałość na rozciąganie – 107 MN/m
- graniczne wydłużenie – 135%,
- wytrzymałość na ściskanie – 159 MN/m
- wytrzymałość na zginanie – 160 MN/m
- wytrzymałość na skręcanie – 53 MN/m



1. Mrozowski J., Awrejcewicz J.: Podstawy biomechaniki. Łódź: Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej 2004.
2. Marciniak J.: Biomateriały. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej 2002.

# A TO CIEKAWE?

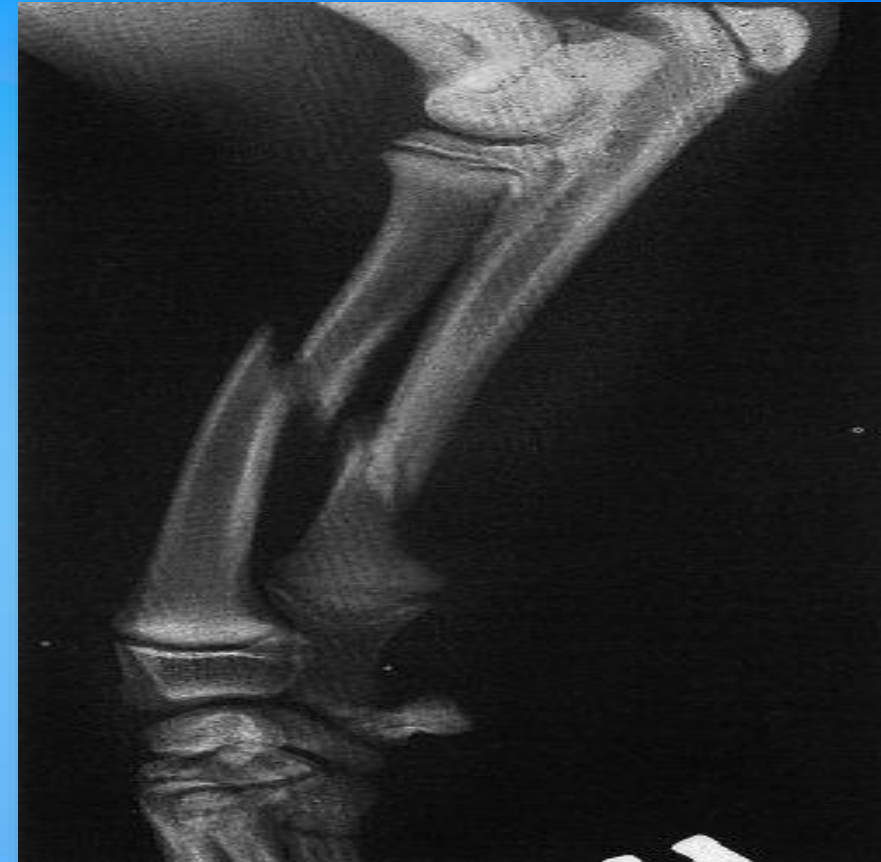
- Kość ma zdolność regeneracji, czego dowodem jest możliwość jej zrastania się po złamaniu. Kluczową rolę w tym procesie odgrywa okostna.
- Oprócz wytwarzania tkanki kostnej, ma ona również zdolność odtwarzania kształtu kości. Najłatwiej regenerują się trzony kości długich, ubytki kości żuchwy i żeber.
- Kość ma również zdolności adaptacyjne – potrafi dostosowywać swój kształt i wielkość do obciążeń i warunków. Na przykład przy złamaniu piszczeli, druga z kości goleni, strzałka, może zwiększyć swoją grubość tak, aby przejąć dodatkowo pojawiające się siły ściskające.
- Długotrwały brak obciążenia może doprowadzić do zaniku kości (loty kosmiczne)
- Kości mają największy „współczynnik bezpieczeństwa” ze wszystkich elementów biorących udział w budowie układu ruchu (mięśni, ścięgien, tkanki łącznej) z uwzględnieniem konieczności dostosowania kształtu do otoczenia. Przykładem tego może być trójkątny przekrój piszczeli, uwarunkowany przylegającymi do niej mięśniami, mimo że ze względów wytrzymałościowych optymalny byłby przekrój kołowy.



# ZŁAMANIA KOŃCZYN – najczęstszą przyczyną uszkodzeń kości



**Złamanie** – jest to całkowite przerwanie ciągłości kości, głównie spowodowanym urazem mechanicznymi.



Źródło: <https://images.app.goo.gl/Hu9uUrkt82q2T1yx8>





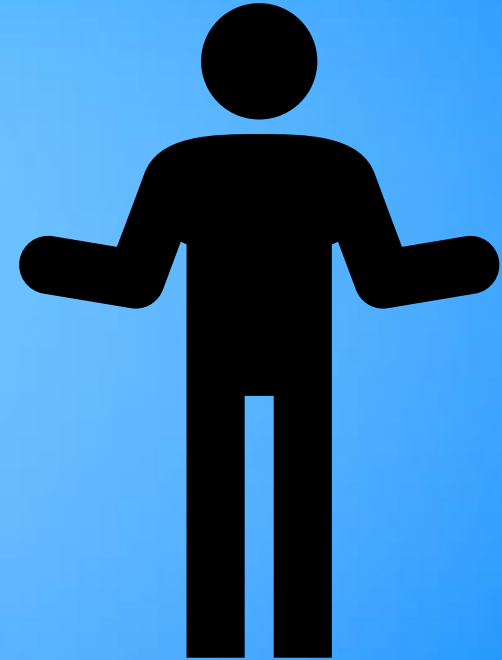
# ZŁAMANIE KOŃCZYN

Do najczęstszych przyczyn złamań należą:

- uderzenia,
- zmiżdżenia,
- upadki,
- przygniecenia i postrzały.

Objawami złamań są:

- bolesność i obrzęk,
- ograniczenie ruchomości lub jej przywrócenie.



# PODSTAWOWE RODZAJE ZŁAMAŃ

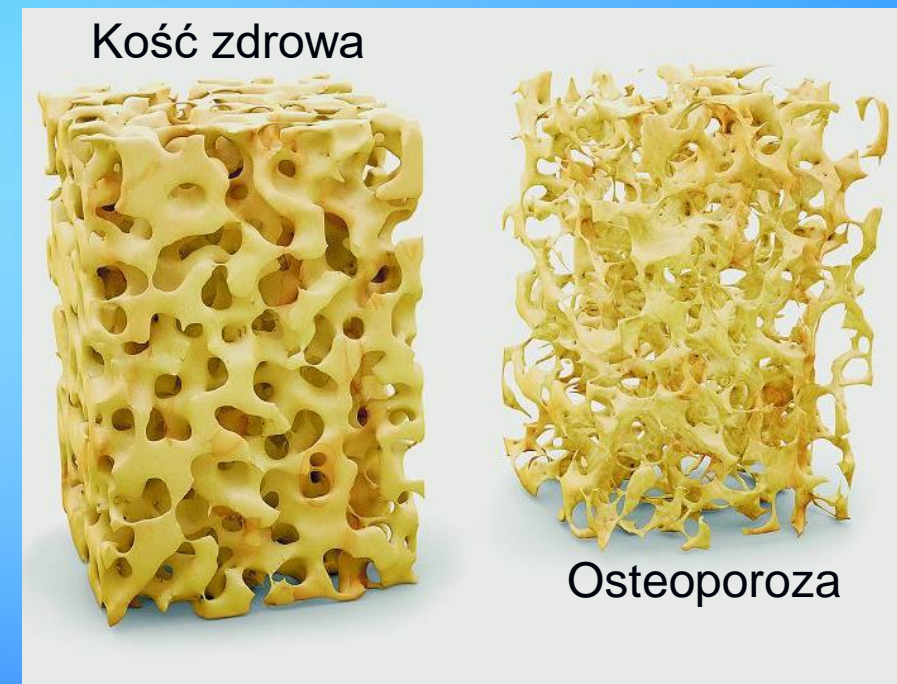
- **Proste** - gdy dochodzi do uszkodzenia tylko kości
- **Powikłane** - gdy oprócz kości uszkodzeniu ulegają też inne tkanki, np. nerwy lub naczynia krwionośne
- **Wieloodłamowe** - gdy kość łamie się na wiele części
- **Otwarte** - złamaniu kości towarzyszy uszkodzenie skóry ponad złamaniem
- **Zamknięte** – złamaniu kości nie towarzyszy uszkodzenie skóry ponad złamaniem



# PRZYCZYNY ZŁAMAŃ

Złamania kości wynikające z przyczyn chorobowych określa się jako urazy których źródłem było „zmęczenie kości” (często dotyczy sportowców, którzy poddawani są dużym obciążeniom);

Typowe choroby obniżające wytrzymałość kości to osteoporoza lub inna choroba układu kostnego.



<https://wyborcza.pl/TylkoZdrowie>



## Złamanie może dotyczyć:

- trzonu kości, tj. części środkowej kości długiej;
- nasady lub przynasady kości długiej (zakończenia kości z obu stron);
- w części bliższej = proksymalnej – tej bliżej ciała;
- w części dalszej = dystalnej – tej oddalonej od ciała.



# PODSTAWOWE RODZAJE ZŁAMAŃ

- **Proste** - gdy dochodzi do uszkodzenia tylko kości
- **Powikłane** - gdy oprócz kości uszkodzeniu ulegają też inne tkanki, np. nerwy lub naczynia krwionośne
- **Wieloodłamowe** - gdy kość łamie się na wiele części
- **Otwarte** - złamaniu kości towarzyszy uszkodzenie skóry ponad złamaniem
- **Zamknięte** – złamaniu kości nie towarzyszy uszkodzenie skóry ponad złamaniem



Dla wszystkich

Dorośli



# METODY LECZENIA

Ważnymi **czynnikami wpływającymi na wybór metody leczenia są rodzaj i umiejscowienie złamania**. Metody postępowania w zaopatrywaniu złamań w obrębie trzonów kości długich wciąż się rozwijają i ewoluują. Wskutek coraz lepszego zrozumienia mechanizmów biologicznych gojenia złamań i roli tkanek miękkich w tym procesie powstają nowe techniki nastawiania i zespалania tych złamań. Podstawowy cel stanowi przywrócenie w jak największym stopniu funkcjonalności kończyny, nie zawsze jest konieczne nastawienie anatomiczne.

**Leczenie złamań kości może być operacyjne lub zachowawcze, czyli nieoperacyjne.**





# METODY LECZENIA – leczenie operacyjne

**Bezwzględными wskazaniami do zabiegu operacyjnego są ratowanie życia lub ratowanie złamanej kończyny**, czyli sytuacje, w których tylko operacja jest szansą na przeżycie (np. w przypadku urazów wielonarządowych)

**lub uniknięcie amputacji** (np. w złamaniach otwartych). Leczenie operacyjne stosuje się także w przypadkach, gdy zastosowanie leczenia zachowawczego nie gwarantuje pożądanego efektu leczenia.

Dorośli



# METODY LECZENIA – leczenie zachowawcze

**Leczenie zachowawcze**, najczęściej z wykorzystaniem unieruchomienia **gipsowego** może służyć jako zaopatrzenie czasowe lub ostateczne. Pozwala ono uniknąć powikłań związanych z operacją. Zrost kostny w takim przypadku trwa jednak dłużej, większe jest również ryzyko braku zrostu, nieprawidłowego ustawienia i sztywności sąsiadujących stawów

Dla dzieci







# CHIRURGIA SZCZĘKOWA

Stanowi ona dziedzinę medycyny którą tworzą elementy chirurgii stomatologicznej i plastycznej, traumatologii, medycyny ogólnej, a czasem także onkologii.

Chirurg szczękowy najczęściej wykonuje takie zabiegi jak usuwanie zębów z zębodołów, resekcja wierzchołków korzeni, usuwanie korzeni, stabilizacja kości i transpozycja zębów. Poważniejsze zabiegi to tylko niewielki procent chirurgii szczękowej, ale mają ogromne znaczenie, szczególnie gdy dotyczą uszkodzeń lub nawet zniekształceń twarzoczaszki na skutek wypadków. Chirurg szczękowy jest w stanie przeprowadzić skomplikowane operacje tam, gdzie nie jest w stanie pomóc chirurg plastyczny czy lekarz stomatolog.





# CHIRURGIA SZCZĘKOWA

Procedury chirurgiczne są niezbędne w wielu przypadkach, gdy u pacjenta stwierdza się nadmierne wysunięcie żuchwy, zwężenie szczęki lub gdy występuje tak zwany zgryz otwarty. Bardzo często zabieg chirurgii szczękowej jest jedynym rozwiązaniem w przypadku nieprawidłowości w budowie brody. To jedyny sposób, aby wymodelować dolną część twarzy i nadać jej odpowiedni kształt, zmniejszyć brodę lub ją powiększyć.

**Urazy powypadkowe** dotyczą pacjentów, którzy doświadczyli złamań kości w obrębie szczęki, twarzy czy samej żuchwy. Do złamań tego typu dochodzi zwykle w trakcie wypadków komunikacyjnych, w katastrofach budowlanych, jako kontuzje sportowców. Leczenie poszkodowanego polega na umieszczeniu specjalnych szyn, protez lub innych metalowych mikro płytek, dzięki którym można odtworzyć kształt kości, zabezpieczyć je i umożliwić pacjentowi powrót do zdrowia.



# GŁÓWNE TYPY I PRZYCZYNY ZŁAMAŃ SZCZĘK

Złamania są podzielone na

**pełny** - z przesunięciem fragmentów, których liczba jest zmienna lub bez nich,

**niekompletny** - pęknięcia i zagłębienia. Mogą być również zamknięte i otwarte (z jednoczesnym przebijaniem fragmentów miejscowych tkanek powłokowych, w tym skóry).

*Otwarte pęknięcia* w 100% przypadków zakażonych i charakteryzujących się poważniejszym obrazem klinicznym.

Dorośli



# LECZENIE CHIRURGICZNE

Leczenie chirurgiczne polega na otwarciu miejsca złamania i prawidłowym ustawieniu złamanych kości a następnie ich stabilizacja.

W leczeniu wykorzystuje się grupy materiałów

- metalowe,
- ceramiczne,
- polimerowe,
- węglowe,
- kompozytowe.



# CZYNNIKI MAJĄCE WPŁYW NA DOBÓR BIOMATERIAŁU



## 1. Własności mechaniczne:

- Wytrzymałość na rozciąganie i ściskanie,
- Wytrzymałość na zginanie i skręcanie,
- Wytrzymałość zmęczeniową,
- Twardość,
- Odporność na ścieranie,
- Sztywność,
- Ciągliwość ,





# ZACHOWANIE BIOMATERIAŁU W ORGANIZMIE

- **materiały obojętne** (prawie obojętne) – niewywołujące żadnej lub prawie żadnej reakcji otaczającej tkanki; do grupy tej zalicza się przede wszystkim metale i ceramiki,
- **materiały aktywne** – dobrze wiążą się z otaczającą tkanką i stymulują rozwój nowego, zregenerowanego organu; do grupy tej można zaliczyć ceramiki i metale,
- **materiały ulegające rozkładowi w środowisku organizmu ludzkiego** – po określonym czasie działania materiały takie rozpuszczają się w otaczającej tkance i zostają przez nią wchłonięte, nie powodując jej uszkodzenia lub zmian patologicznych; do grupy tej zaliczyć można przede wszystkim odpowiednie gatunki polimerów.



# BIOLOGICZNA OCENA BIOZGODNOŚCI ZGODNIE Z NORMĄ ISO

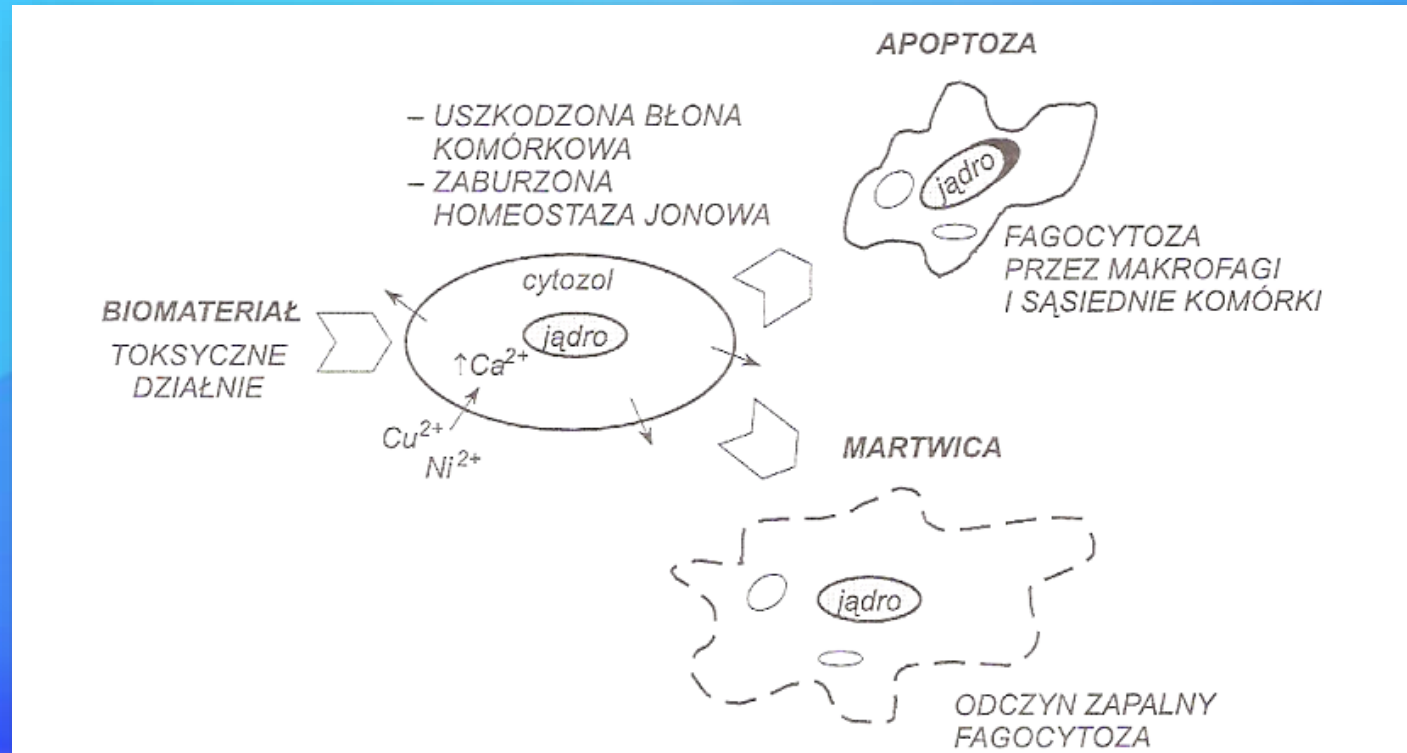


- 1 Test genotoksyczności, karcenogenności
- 2 Toksyczność związana z rozrodczością
- 3 Reakcja krwi
- 4 Cytotoksyczność in vitro
- 5 Lokalny efekt po wszczepieniu materiału
- 6 Toksyczność ogólnoustrojowa
- 7 Wpływ sterylizacji
- 8 Testy oceniające wrażliwości reakcje alergiczne na obecność materiału
- 9 Identyfikacja i ocena jakościowa produktów degradacji



# TOKSYCZNY WPŁYB BIOMATERIAŁU NA KOMÓRKI

Związki chemiczne uwalniane z implantu będącego w kontakcie z organizmem mogą powodować podrażnienia skóry, błon śluzowych lub spojówki oka. Efekt ten, to miejscowa reakcja zapalna tkanki, która charakteryzuje się wystąpieniem rumienia, obrzęku, łuszczenia, pęcherzyków, a w przypadku silnego podrażnienia nadżerek lub martwicy.





# BIOTOLERANCJA (BIOKOMPATYBILNOŚCI) BIOMATERIAŁÓW



Wystąpienie w organizmie żywym ciała obcego pobudza wiele mechanizmów mających na celu jego usunięcie. Gdy obca substancja, w tym przypadku implant, zostaje wykryta przez układ immunologiczny, organizm rozpoczyna produkcję protein (antybiał) o silnym działaniu utleniającym prowadzących do korozji.

**Korozja implantów w środowisku płynów ustrojowych** wynika głównie z jego agresywnego charakteru. Warunki panujące w organizmie mogą zostać przyrównane do słonego środowiska morskiego.



# WYSTĄPIENIE KOROZJI

Wystąpienie korozji z klinicznego punktu widzenia może prowadzić do:

- ograniczenia okresu pracy implantu w organizmie, ograniczenia możliwości przenoszenia wymaganych obciążeń,
- produkty korozji mogą prowadzić do wystąpienia niepożądanych reakcji biologicznych prowadzących do odrzucenia wszczepu, jony metali uwalniane do otaczających tkanek mogą mieć działanie toksyczne,
- możliwość wystąpienia bólu w wyniku uwolnienia do otaczających tkanek produktów korozji (bez wystąpienia stanu zapalnego).



# RODZAJE ZNISZCZEŃ

Rodzaje zniszczeń korozyjnych biomateriałów metalicznych:

- **Pitting** jest rodzajem degradacji materiałów, wynikającym ze zużycia zmęczeniowego w skojarzeniach smarowanych. W drobne pęknięcia zmęczeniowe wciskany jest przez współpracujące elementy smar pod wysokim ciśnieniem,
- **Fretting** występuje w przypadku połączeń spoczynkowych, w których powierzchnie będące w bezpośrednim styku wykonują mikroruchy oscylacyjne (drgania). Wystąpienie tego rodzaju zniszczenia materiału wiąże się z emisją znacznej ilości produktów korozji do otaczających tkanek,



# RODZAJE ZNISZCZEŃ

Rodzaje zniszczeń korozyjnych biomateriałów metalicznych:

- **Korozja szczelinowa** występuje w chwili, gdy materiał jest w pewnej części odizolowany od środowiska korozyjnego. Ogniska korozji szczelinowej są najczęściej zlokalizowane pomiędzy powierzchniami elementów stykających się np. strefa przejściowa w implantach zębów (zastosowanie materiałów niebiokompatybilnych)[1]
- **Korozja galwaniczna** ma miejsce, gdy dwa metale o różnym potencjale elektrochemicznym pozostają bezpośrednim styku w środowisku elektrolitu. Intensywność tego rodzaju korozji uzależniona jest od wielu zmiennych, jak np. wielkość powierzchni styku czy rodzaj metali tworzących ogniwo galwaniczne[2]

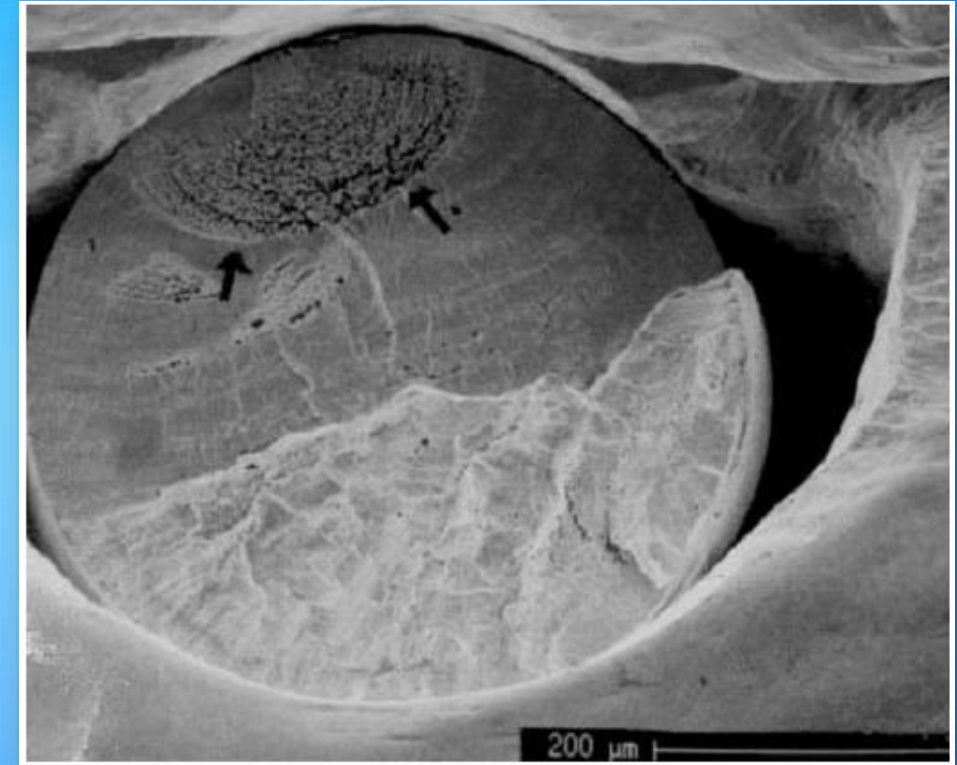


1. <https://edentico.pl/powiklania-po-leczeniu-implantoprotetycznym-jak-sobie-z-nimi-radzic/>
2. Wilga M.: Biotolerancja implantów metalowych w środowisku organizmu ludzkiego. Przyczyny infekcji po implantacji. Praca przejściowa. Politechnika Gdańska, Wydz. Mechaniczny 2008.

# RODZAJE ZNISZCZEŃ

- **Korozja międzykrystaliczna** jest rodzajem korozji występującej na granicach ziaren. Powstaje w wyniku istnienia w stopie obszarów o zróżnicowanym składzie chemicznym.

**Zmęczenie materiału** występuje przy cyklicznym obciążaniu i odciążaniu elementu. Zmiany naprężeń prowadzą do zmiany plastyczności materiału (jego lokalnego utwardzenia), co może stać się przyczyną wystąpienia mikropęknięć. Zainicjowane pęknięcie rozrasta się, zmniejszając powierzchnię, efektywnie przenosząc obciążenie. Zwiększanie się powierzchni pęknięcia prowadzi w rezultacie do zniszczenia elementu.



Rys. Zniszczenie zmęczeniowe



# ZMIANY KOROZYJNE NA POWIERZCHNI MATERIAŁU



# WAŻNIEJSZE MECHANIZMY NISZCZENIA BIOMATERIAŁÓW

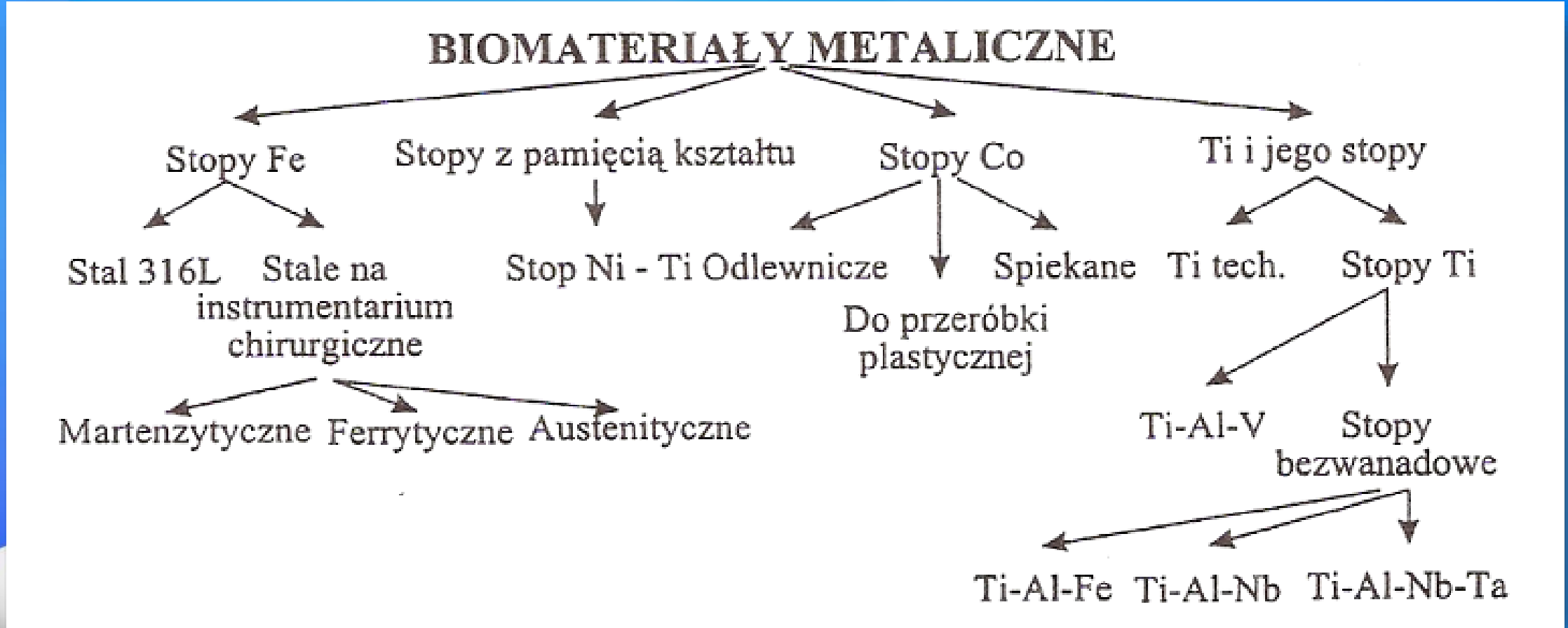


	Materiał	Mechanizm niszczenia	Możliwe reakcje organizmu
tworzywa metaliczne	stale austenityczne stopy kobaltu stopy tytanu	korozja fizyczna korozja elektrochemiczna	reakcje toksyczne oddziaływanie rakotwórcze stany zapalne metalozę
tworzywa ceramiczne	materiały węglowe	resorpcja	materiał obojętny dla organizmu
	materiały obojętne $Al_2O_3ZrO_2$	pękanie ścieranie korozja naprężeniowa	materiał obojętny dla organizmu
	bioszkła	pękanie hydroliza	powstawanie wiązania kość-implant
	materiały resorbowalne	pękanie resorpcja	odbudowa tkanki kostnej
tworzywa sztuczne	cementy kostne polietylen poliuretany politetrafluoroetylen polistery silikony hydrożele metaloporfiryny	starzenie degradacja depolimeryzacja pęcznienie wysysanie ścieranie	reakcje toksyczne reakcje alergiczne oddziaływanie rakotwórcze stany zapalne



Górecki A., KuśW.: Polskie biomateriały węglowe w medycynie i weterynarii. *Ceramics*, nr 46, 1994, 9–21.  
Williams D.: *Materials Science and Technology – Medical and Dental Materials*. R. W. Cahn, P. Haasen, E. J. Kramer, Vol. 14, 2006.

# BIOMATERIAŁY METALICZNE





# Porównanie składu chemicznego stali przeznaczonych na implanty chirurgiczne z innymi stopami metali stosowanymi do tego celu

Podstawowy pierwiastek	Rodzaj stopu, norma	Stężenie masowe pierwiastków <sup>1)</sup> , %										
		C	Si	Mn	Fe	Co	Cr	Mo	Ni	V	Ti	inne
Żelazo	X2CrNiMo18-14-3 (D) PN-ISO 5832-1	≤0,03	≤1	≤2	reszta	–	17-19	2,3-3,5	13-15	–	–	Cu ≤0,5
Tytan	Ti <sup>2)</sup> ISO 5832-2	≤0,1	–	–	≤0,5	–	–	–	–	–	reszta	–
	TiAl6V4 <sup>2)</sup> ISO 5832-3	≤0,08	–	–	≤0,3	–	–	–	–	3,5-4,5	reszta	Al: 5,5-6,7
Kobalt	CoCr28Mo6 ISO 5832-4	≤0,35	≤1	≤1	≤1	reszta	26,5-30	4,5-7	2,5	–	–	–
	CoCr20W15Ni10 ISO 5832-5	≤0,15	≤1	≤2	≤3	reszta	19-21	–	9-11	–	–	W: 14-16
	CoNi35Cr20Mo10 ISO 5832-6	≤0,025	≤0,15	≤0,15	≤1	reszta	19-21	9-10,5	33-37	–	≤1	–

<sup>1)</sup> P ≤0,015 do ≤0,025, S ≤0,01 do ≤0,015; <sup>2)</sup> N<sub>2</sub> ≤0,05, O<sub>2</sub> ≤0,05, H<sub>2</sub> ≤0,015.



# Porównanie własności mechanicznych stali przeznaczonych na implanty chirurgiczne oraz innych stopów metali stosowanych do tego celu

Rodzaj stopu, norma	Stan	Wytrzymałość na rozciąganie $R_m$ min., MPa	Granica plastyczności $R_{p0,2}$ min., MPa	Wydłużenie $A$ min., %	Moduł sprężystości wzdłużnej $E$ , GPa	Wytrzymałość zmęczeniowa $Z_{go}$ , MPa
X2CrNiMo18-14-3 (D) PN-ISO 5832-1	przesycony	490	190	40	200	240
	po obróbce plastycznej na zimno	860	690	12	200	410
Ti ISO 5832-2	przesycony	240-550	170-440	24-15	110	250
	po obróbce plastycznej na zimno	680	52	10		400
TiAl6V4 ISO 5832-3	przesycony	860	1000	10	220	500
CoCr28Mo6 ISO 5832-4	odlewany	665	450	8	200	250
CoCr20W15Ni10 ISO 5832-5	odlewany	860	310	10	220	200
CoNi35Cr20Mo10 ISO 5832-6	przesycony	800	300	40	220	250
	po obróbce plastycznej	1200	1000	10	220	500



# ZASTOSOWANIA



Implanty zębów  
(cena 4 tys. zł)

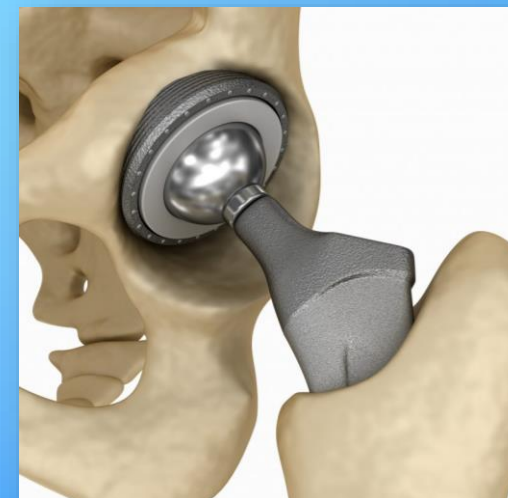
Staw barkowy  
(cena 22 tys. zł)



Staw kolanowy  
(cena 10 tys. zł)



Staw biodrowy  
(cena 22 tys. zł)



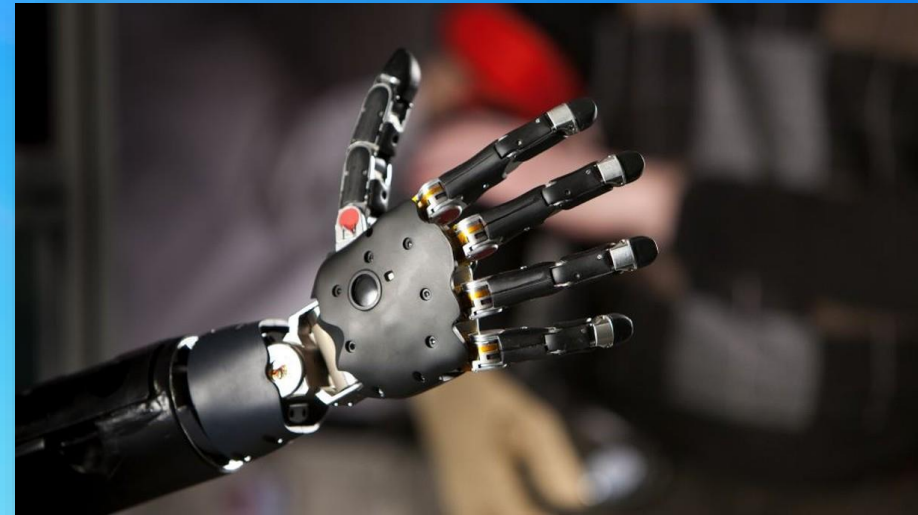
<https://zaufanekliniki.pl/endoproteza-stawu-barkowego>  
<https://endoproteza.info/staw-biodrowy/endoprotezoplastyka>



# ZASTOSOWANIA



Proteza ręki sterowana falami mózgowymi[1]

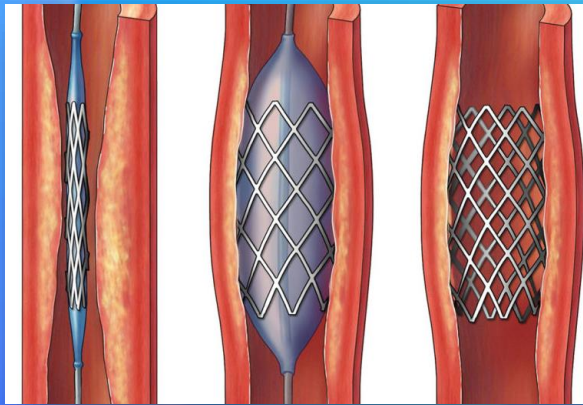
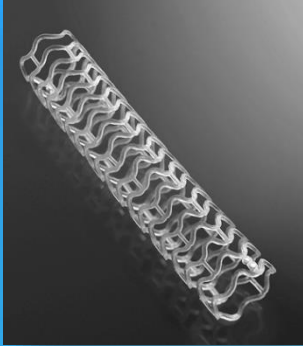


Wszczepialny system wspomagania serca[2]

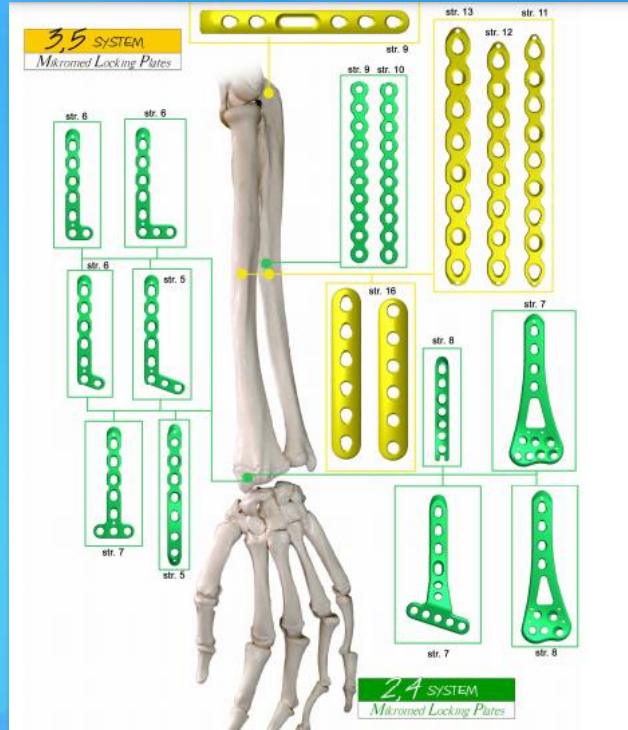
1. <https://www.geekweek.pl/news/2019-07-24/protezy-kontrolowane-umyslem-wcale-nie-wymagaja-implantow-mozgu/>
2. <https://www.wadim.com.pl/pl/a/Wspolpraca-z-Fundacja-Rozwoju-Kardiochirurgii>



# ELEMENTY STABILIZUJĄCE



Stent naczyniowy [1]



Stabilizatory płytkowe wewnętrzne [2]



Stabilizator zewnętrzny [3]



1. <https://centralgaheart.com/need-know-heart-stent/>
2. [http://www.mikromed.pl/wp-content/uploads/2018/06/MIKROMED\\_4\\_01.pdf](http://www.mikromed.pl/wp-content/uploads/2018/06/MIKROMED_4_01.pdf)
3. [https://www.wikiwand.com/de/Fixateur\\_externe](https://www.wikiwand.com/de/Fixateur_externe)

# METODY CERAMICZNE

Biomateriały ceramiczne w porównaniu z pozostałymi biomateriałami charakteryzują się:

- Porowatością umożliwiającą wrastanie tkanek oraz zabezpieczającą trwałe połączenie pomiędzy tkankami a implantem;
- Wysoką bioobojętnością ściskanie oraz odpornością na ścieranie;
- Wysoką odpornością na w środowisku tkankowym;
- Dużą wytrzymałością na korozję w środowisku tkankowym;
- Możliwością sterylizacji bez zmiany właściwości materiału;
- Kruchością.



# KATEGORIE BIOMATERIAŁÓW CERAMICZNYCH



**Materiały ceramiczne** resorbowane w organizmie. Cechą charakterystyczną tej grupy jest taki sam skład chemiczny i fazowy, jak w przypadku tkanki kostnej.

Do cech charakterystycznych syntetycznych biomateriałów można zaliczyć:

- najwyższą, spośród wszystkich znanych obecnie biomateriałów, biotolerancję w środowisku tkankowym;
- kontrolowaną resorpcję w środowisku tkankowym;
- możliwość tworzenia trwałego i silnego połączenia z otaczającą tkanką kostną;
- niskie właściwości mechaniczne.



# KATEGORIE BIOMATERIAŁÓW CERAMICZNYCH



Biomateriały wykonane z bioceramiki o kontrolowanej reaktywności w organizmie muszą spełniać następujące wymagania:

- reaktywne powierzchnie powinny zawierać jony  $\text{Ca}^{2+}$  oraz  $\text{PO}_4^{3-}$  i cechować się pH zasadowym;
- stężenia poszczególnych pierwiastków i związków powinny się mieścić w określonych granicach, ustalonych na podstawie badań bioinertności i reaktywności;
- uzyskiwane połączenia na granicach biomateriał – szkło powinny mieć określone właściwości mechaniczne.

W grupie tej występują bioszklą oraz szkło ceramiczne.





# Skład chemiczny, fazowy, wybrane właściwości oraz obszar zastosowań ceramiki bioaktywnej

Właściwości chemiczne i fizyczne		Gatunek bioszklá (nazwy handlowe)				
		Bioglass	Ceravital	Cerabone	Ilmaplant	Bioverit
Skład chemiczny	Na <sub>2</sub> O	24,5	5 – 10	0	4,6	3 – 8
	K <sub>2</sub> O	0	0,5 – 3,0	0	0,2	0
	MgO	0	2,5 – 5,0	4,6	2,8	2 – 21
	CaO	24,5	30 – 35	44,7	31,9	10 – 34
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0	0	8 – 15
	SiO <sub>2</sub>	45,0	40 – 50	34,0	44,3	19 – 54
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6,0	10 – 50	16,2	11,2	2 – 10
	CaF <sub>2</sub>	0	0	0,5	5,0	3 – 23
Skład fazowy		szkło	szkło apatyt	apatyt $\beta$ wolastonit szkło	apatyt $\beta$ wolastonit szkło	apatyt phlogopite szkło
Gęstość [g/m <sup>3</sup> ]		–	–	3,07	–	2,8
Twardość [HV]		–	500	680	–	500
Wytrzymałość na ściskanie [MPa]		–	–	0,60	–	500
Wytrzymałość na zginanie [MPa]		42	100 – 150	215	160	100 – 160
E [GPa]		35	–	118	–	–
K <sub>IC</sub> [MPa·m <sup>1/2</sup> ]		–	2,0	2,5	0,5 – 1,0	1,0
Obszar zastosowań		protezy ucha środkowego				protezy kręgow

Stoch L.: Biomateriały szkliste i szklópoходne. Ceramics, nr 46, 1994, 29–40



# BIOMATERIAŁY OBOJĘTNE

Materiały te nie ulegają w ogóle, lub tylko w niewielkim stopniu zmianom podczas długotrwałego kontaktu ze środowiskiem biologicznym. Biomateriały te nie uwalniają do otaczającej tkanki żadnych jonów, nie oddziałują toksycznie na organizm, ale organizmy żywe reagują na ich obecność

Typowymi biomateriałami ceramicznymi obojętnymi są ceramika korundowa  $Al_2O_3$  oraz cyrkonowa  $ZrO_2$ .

Bioceramikę obojętną możemy podzielić, w zależności od porowatości, na:

- Bioceramikę obojętną konstrukcyjną (o niskiej porowatości)
- Bioceramikę obojętną porowatą.

Zastosowanie w stomatologii i ortopedii na głowy endoprotez metalicznych



# Wymagania i właściwości ceramiki korundowej

Właściwości	Jednostka	Wymagania ISO 6474 1.02.1981	Wymagania ISO 647 1.02.1994		FRIALIT®	BIOLOX®	BIOLOX® forte
			typ A	typ B			
Gęstość pozorna	g/m <sup>3</sup>	≥3,90	≥3,94	≥3,90	>3,98	3,96	3,98
Zawartość Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%wag.	≥99,5	≥99,5		>99,9	>99,9	>99,9
Zawartość SiO <sub>2</sub> +Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	%wag.	≤ 0,1	n.n.		<0,05	<0,02	-
Zawartość MgO	%wag.	n.n.	≤0,3		-	0,02	0,02
Zawartość Ca-O+SiO <sub>2</sub> +Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	%wag.	n.n.	≤0,1		-	-	-
Średnia wielkość ziarna	μm	≤7	≤4,5	≤7	<2,5	<3,2	<1,8
Mikrotwardość HV 0,2	GPa	≈23	n.n.	n.n.	23	-	-
Wytrzymałość na ściskanie	MPa	≈4000	n.n.	n.n.	4000	5000	-
Wytrzymałość na zginanie <sup>a)</sup>	MPa	≥400	-	-	>450	500	580
Wytrzymałość na zginanie <sup>b)</sup>	MPa	-	≥250	≥150	-	-	-
Moduł Younga	GPa	≈380	n.n.	n.n.	380	380	-
Odporność na uderzenie	cm MPa	≥40	n.n.	n.n.	>40	50	-
Odporność na ścieranie	mm <sup>3</sup> /h	≤0,01	≤0,001 <sup>c)</sup>	n.n.	0,001	-	-
Odporność na korozję	mg/m <sup>2</sup> na dzień	≤0,1	n.n.	n.n.	<0,1	<0,001	<0,001

1. Willmann G.: Normen für keramische Implantate. Keramische Zeitschrift 1996, 48, 4, 306–313.

2. Dörre E. i in.: Do ceramic components of hip joint maintain their strength in human bodies? Ceramics in Surgery. Amsterdam: Elsevier 1983,



Tworzywom sztucznym stosowanym w medycynie stawiane są następujące wymagania:

- Łatwość uzyskania powtarzalnej jakości materiału dla różnych partii wyrobów;
- Łatwość formowania, pozwalająca na nadanie odpowiedniej postaci użytkowej bez degradacji tworzywa;
- Łatwość sterylizacji;
- Odpowiednia jakość fizykochemiczna biomateriału;
- Nieinicjowanie odczynów alergicznych i toksycznych;
- Bioinertność.



# POLIMERY NATURALNE



**Kolageny** - stanowią białka włókniste tkanki łącznej. Kolagen jest głównym składnikiem skóry, ścięgien, chrząstek, kości, zębów, naczyń krwionośnych i błon wewnętrznych.

**Jedwab** - naturalny produkt wytwarzany w gruczołach przędnych gąsienic jedwabników. Włókna jedwabne stosowane są jako materiał do zespalania tkanek



# KOLAGEN

W chirurgii rekonstrukcyjnej kolagen może być stosowany:

- jako skóra zastępcza do leczenia ran oparzeniowych;
- w celu korekcji tkanek miękkich (wstrzykiwany śródskórnym lub podskórnym);
- jako środek hemostatyczny (kolagen mikrokrystaliczny);
- w okulistyce (w plastyce rogówki oraz łączenia twardości po odklejeniu się siatkówki);
- w stomatologii (wypełniacz miejsc po miazdze lub do wypełniania kanałów po usuniętym zębie, jako żel kolagenowo-wapniowo-fosforanowy);
- w ortopedii w celu odtworzenia powierzchni stawowych;
- w kardiochirurgii do pokrywania sztucznego lewego przedsionka serca;
- w chirurgii naczyniowej do uszczelniania protez z polimerów syntetycznych;



# POLIMERY NIEDEGRADOWALNE

Zastosowanie:

- **silikony** – chirurgia plastyczna i rekonstrukcyjna;
- **politetrafluoroetylen** – protezy naczyniowe, nici chirurgiczne;
- **poliuretany** – elementy sztucznego serca, protezy naczyniowe o małym przekroju;
- **polietylen** – chirurgia plastyczna i rekonstrukcyjna, cewniki, główki i panewki endoprotez stawowych;
- **polipropylen** – nici chirurgiczne, siatki;
- **politereftalan etylu** – protezy naczyniowe, siatki, nici chirurgiczne;
- **polimetakrylan metylu** – ortopedia, soczewki wewnątrzgałkowe;
- **poliamidy** – nici i siatki chirurgiczne



# Własności fizykochemiczne polimerów syntetycznych stosowanych na implanty

Rodzaj polimeru	Własności				
	wytrzymałość na rozciąganie Rm [MPa]	wydłużenie A [%]	twardość wg. skali Shorea	gęstość [g/cm <sup>3</sup> ]	absorpcja wody [%]
silikony	2,4+7	100+700	A15 + 65	1,0+1,15	0,1
politetrafluoro-etylen	13+34	200+400	D50 + D65	2,2	0,0
poliuretany	1+69	10+1000	A10 + D90	1,05+15	0,6+0,7
polietylen	4+38	20+1000	D41 + D70	0,91+0,97	0,01
polipropylen	31+210	60+1000	D74 + D90	0,91	0,05
polimetakrylan metylu	55+85	2+7	M60 + M100	1,2	0,1+0,4
polimetakrylan etylu	17+280	50+120	–	2,2	0,8
poliamid	63+126	250+550	–	1,14	2,5+7,5





# Własności materiałów stosowanych na implanty w chirurgii kostnej



Własności fizyczne	Kość ludzka	Stal CrNiMo 316L	Stop Co-Cr-Mo Protasul-2	Stop Ti-6Al-4V	Ceramika Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Polietylen UHMWPE
Skład chemiczny	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> OH CaHPO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O Ca <sub>8</sub> H <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> 2H <sub>2</sub> O CaCO <sub>3</sub>	Cr-17-19% Ni-13-15% Mo-2,5-3,5% Mn-2,0% Si-1,0%	Cr-26,5-30% Mo-4,5-70% Ni-2,5% Mn Fe, Si 1,0% Co reszta	Al-5,5-6,7% V-3,5-4,5% Ti reszta	H <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -99,5% SiO <sub>2</sub> -0,1%	-
Gęstość [g/cm <sup>3</sup> ]	-	7,9	8,3	4,5	3,9	0,96
porowatość	80	-	-	-	-	-
Wielkość kryształów ziarna [μm]	60-300	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ ?
Wielkość porów [μm]	50-600	-	-	-	-	-
Wytrzymałość na rozciąganie R <sub>m</sub> [MPa]	130	590-1100	665	850-1120	-	30
Wytrzymałość na ściskanie R <sub>c</sub> [MPa]	200	-	-	-	4000	20
Wytrzymałość na zginanie R <sub>g</sub> [MPa]	120	-	-	-	400	20-30
Wytrzymałość zmęczeniowa na zginanie R <sub>zg</sub> [MPa]	-	240	250	500	-	-
Granica plastyczności R <sub>0,2</sub> [MPa]	-	190-690	450	895-1080	-	-
Wydłużenie A <sub>5</sub> [%]	0,02	40-12	8	10-15	-	-
Moduł sprężystości E [MPa]	1,8-1,9 × 10 <sup>4</sup>	2,0 × 10 <sup>5</sup>	2,0 × 10 <sup>5</sup>	2,2 × 10 <sup>5</sup>	3,8 × 10 <sup>5</sup>	-



# MATERIAŁY DO ŁĄCZENIA TKANEK

## Nici chirurgiczne

- własności fizykochemiczne:
  - własności fizykochemiczne dostosowane do rodzaju zespалanych tkanek, okresu implantowania i techniki zespалania;
  - dobra biotolerancja;
  - możliwość wykonywania pewnego i niezawodnego wiązania;
  - łatwość sterylizacji;
  - ewentualne bezodczynowe wgajanie dla nici nieusuwalnych z tkanek.



# MATERIAŁY DO ŁĄCZENIA TKANEK

## Nici chirurgiczne

- rodzaj zastosowanego biomateriału
  - roślinne (lniane, bawełniane);
  - zwierzęce (jedwabne, kolagenowe);
  - z tkanek ludzkich (autogenne, homogenne);
  - z tworzyw metalicznych (stalowe, srebrne, tantalowe);
  - polimerowe (poliamidowe, teflonowe)



# MATERIAŁY DO ŁĄCZENIA TKANEK

## Nici chirurgiczne

- Pod względem trwałości w środowisku tkanek można wyróżnić nici:
  - wchłanialne;
  - ulegające biodegradacji;
  - niewchłanialne

Nici wchłaniane tracą swoje własności mechaniczne po upływie 1 do 12 tygodni po wszczepieniu. Nici ulegające biodegradacji ulegają stopniowemu wchłanianiu w okresie od 1 do 3 lat po ich wszczepieniu.



# MATERIAŁY DO ŁĄCZENIA TKANEK

## Cementy kostne

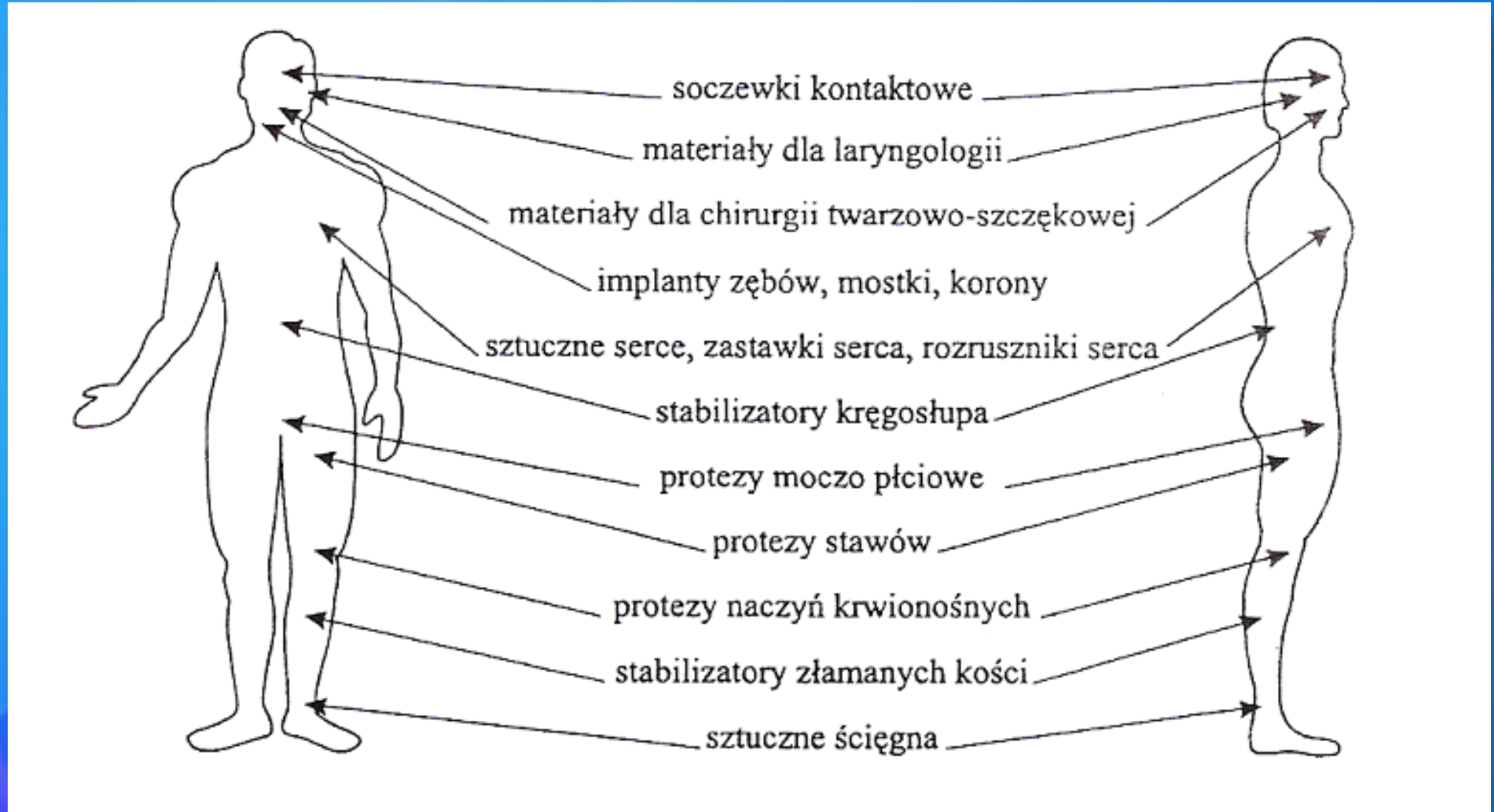
Cementy kostne stosowane są w alloplastyce stawu biodrowego i kolanowego.

Najczęściej stosowany jest polimetakrylan metylu (PMMA) lub kopolimer metakrylanu metylu (MMA). W procesie polimeryzacji zwiększa się wytrzymałość mechaniczna cementu. Już po 2 godzinach osiąga ona 80% swej ostatecznej wytrzymałości, która dla cementów ortopedycznych po 18 godzinach osiąga

- wytrzymałość na zginanie 27,6 do 30,8 MPa;
- wytrzymałość na ściskanie 66,3 MPa;
- wytrzymałość na ścinanie 29,7 do 41,0 MPa.



# NAJWAŻNIEJSZE OBSZARY ZASTOSOWANIA BIOMATERIAŁÓW



# DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ !!!

## JAKIE CECHY POWINIEN POSIADAĆ TWARDZIEL – CZYLI RZECZ O WŁASNOŚCIACH BIOMATERIAŁÓW

**POLITECHNIKA LUBELSKA**  
Katedra Informatyzacji i Robotyzacji Produkcji  
dr Marek Błaszczak

---

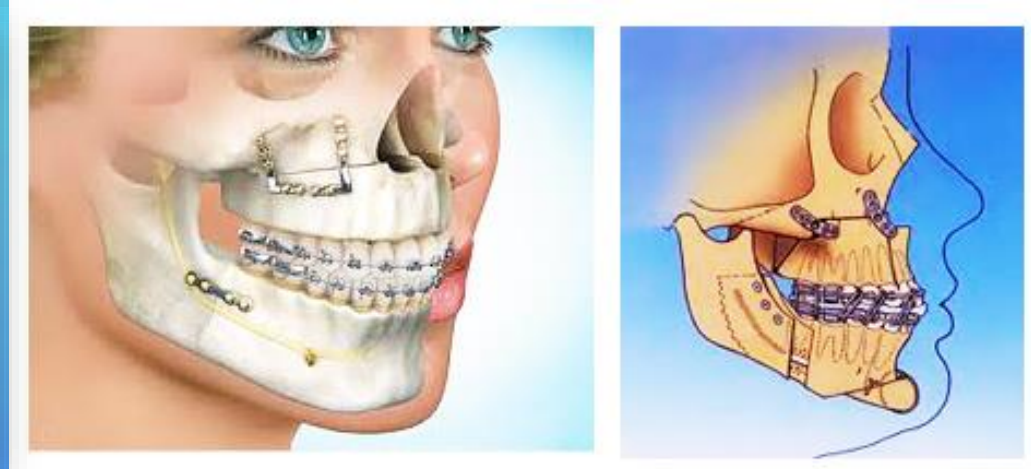
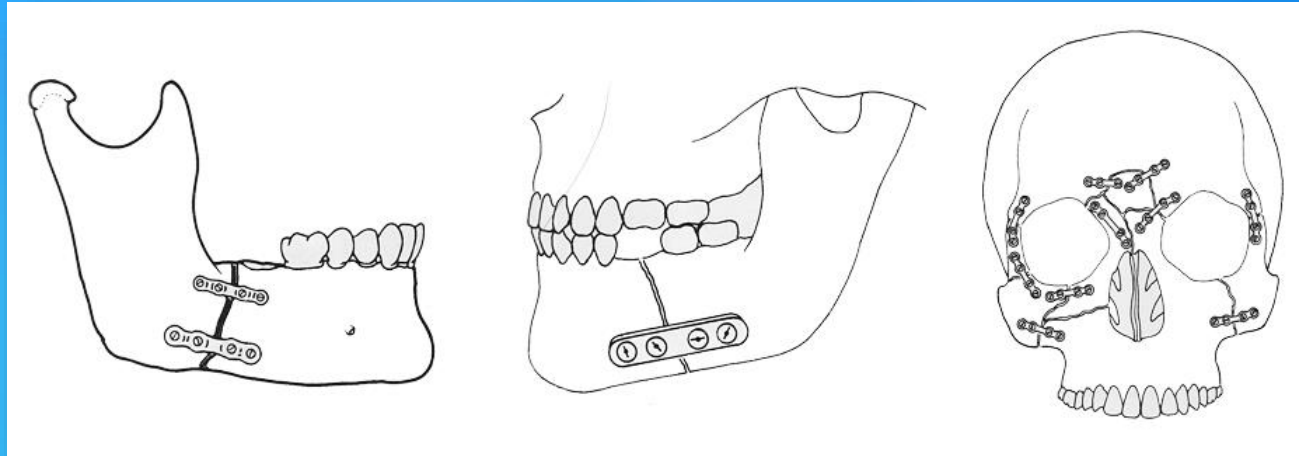
Projekt „ Politechnika Lubelska – Regionalna Inicjatywa Doskonałości”  
– finansowany ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego



Ministerstwo  
Nauki  
i Szkolnictwa  
Wyższego

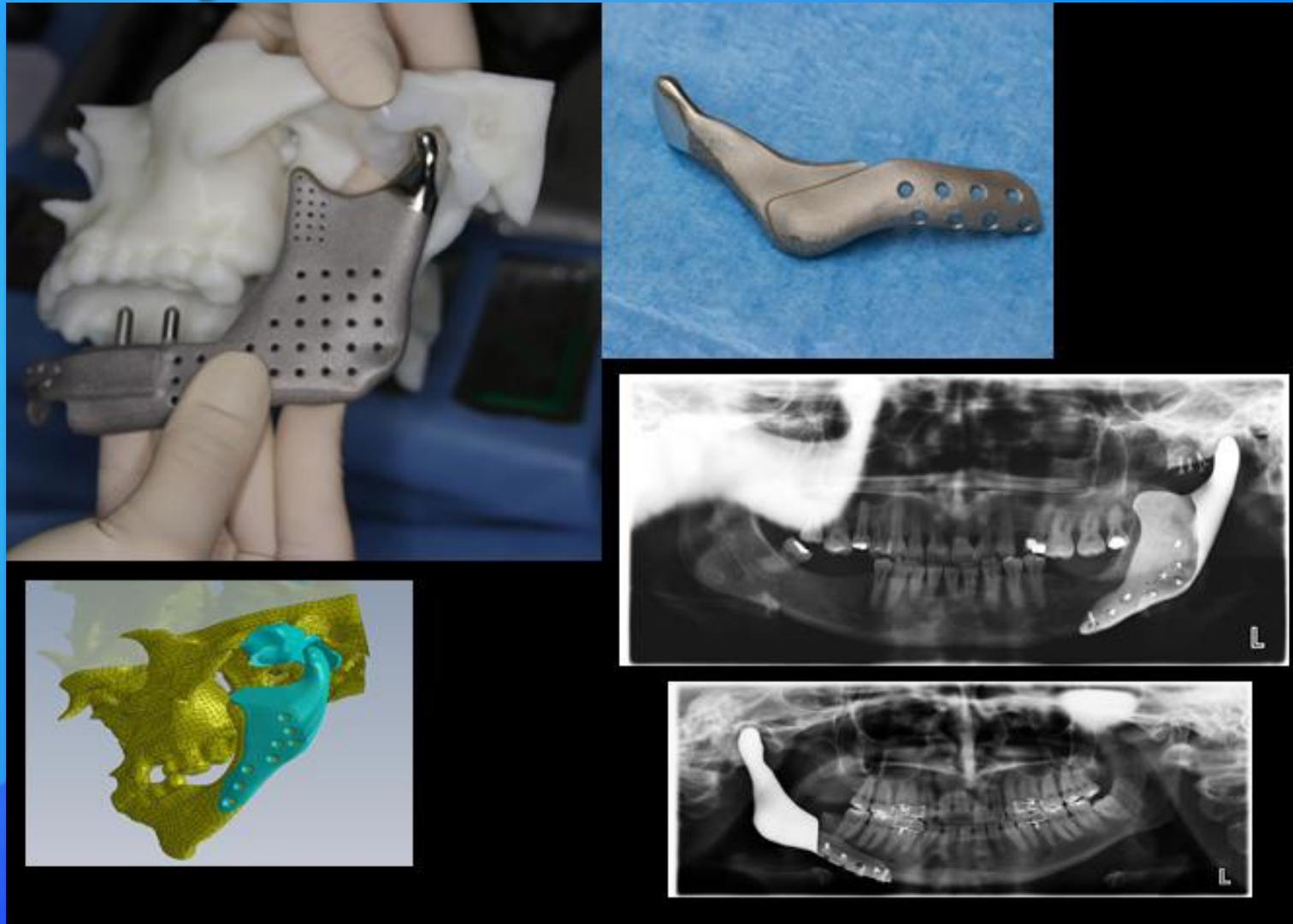


# Chirurgia twarzy - złamania





# Chirurgia twarzy - złamania



<https://spskm.katowice.pl/swiadczenia/lecznictwo-stacjonarne/oddzial-chirurgii-szczekowo-twarzowej/>

# Złamania szczęki górnej

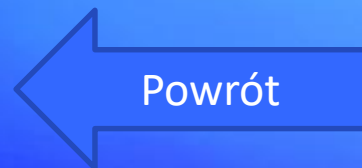
Przy złamaniu kości szczęki występują następujące objawy:

- wada zgryzu;
- zespół intensywnego bólu;
- trudność mowy;
- ostre bóle podczas żucia;
- upośledzona czynność oddechowa.



# Objawy kliniczne złamania żuchwy:

- ból, nasilający się przy próbie mówienia (z powodu uszkodzenia okostnej);
- stawić czoła asymetrii;
- niezdolność do otwarcia szerokich ust;
- miejscowy obrzęk i powstawanie krwiaka;
- zaczerwienienie skóry z miejscową gorączką;
- drętwienie obszaru twarzy;
- zwiększona wrażliwość zębów (podczas badania sprzętu, wykrywany jest wzrost ich pobudliwości elektrycznej);
- podwójne widzenie (często obserwowane przy jednoczesnym wstrząśnięciu).



## Złamanie powikłane



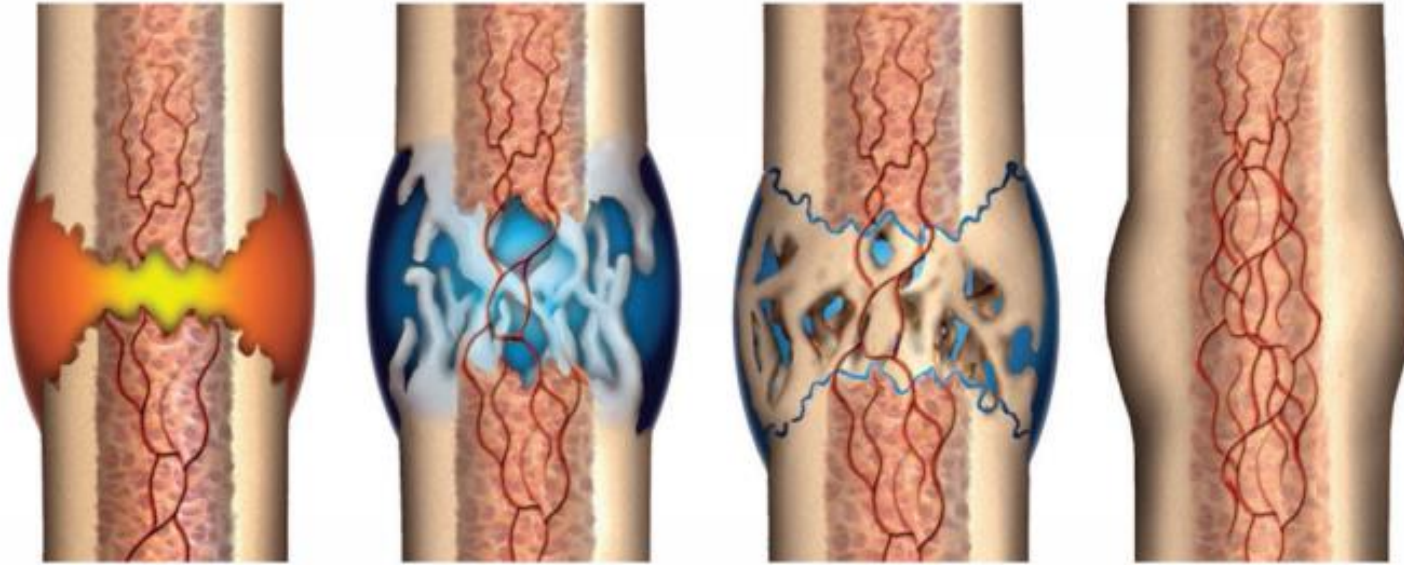
## Złamanie otwarte



Powrót



# Gojenie ran



## Stan zapalny

W warunkach hodowlanych sygnał ultradźwiękowy EXOGEN nasila podziały komórkowe w obrębie komórek okostnej i pobudza wydzielanie czynników wzrostu, co uruchamia tworzenie nowych naczyń krwionośnych

## Kostnina miękka

Leczenie ultradźwiękami nasila uruchomione przez TGFB różnicowanie chondrocytów w warunkach hodowli i przyspiesza tworzenie macierzy zewnątrzkomórkowej

## Kostnina twarda

EXOGEN nasila kostnienie śródchrzęstne i wzmacnia różnicowanie i mineralizację osteoblastów

## Przebudowa kości

Przyspiesza zarówno tworzenie jak i resorpcję kości, a leczenie za pomocą ultradźwięków EXOGEN zapewnia szybszą przebudowę zmineralizowanej kostniny

[Powrót](#)

# Powikłania złamań

