



PODSTAWY BIOMECHANIKI

Wykład 2:
Układ ruchu człowieka jako biomechanizm
Kinematyka połączeń stawowych
Środek ciężkości ciała





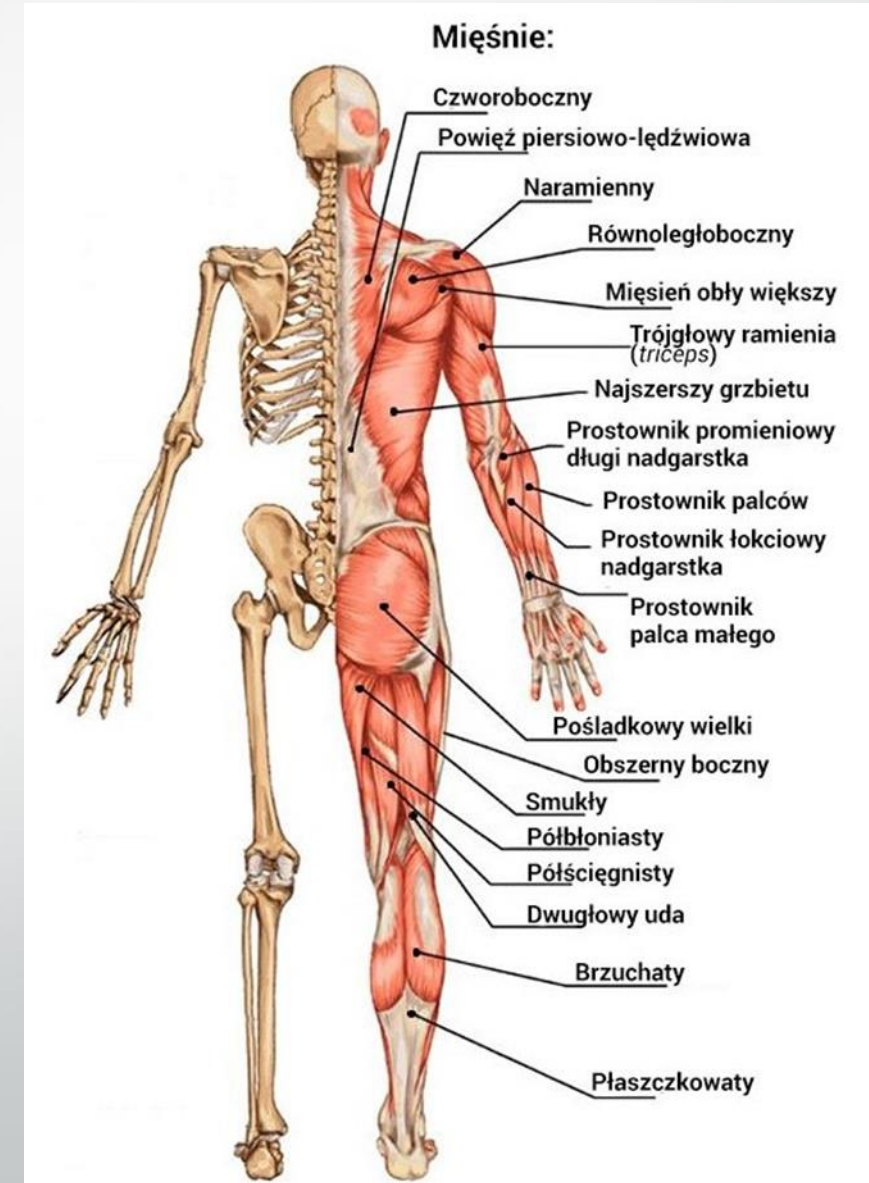
Układ ruchu człowieka

CZĘŚĆ BIERNA - szkielet, który tworzą kości, chrząstki oraz połączenia szkieletowe wolne (stawy) i ściste (więzozrosty, chrząstkozrosty i kościorosty).

Tworzą go:

- szkielet osiowy (czaszka, kręgosłup, klatka piersiowa)
- kończyny (górne i dolne)
- obręcze (barkowa i biodrowa).

CZĘŚĆ CZYNNA – mięśnie szkieletowe i więzadła, które mają zdolność kurczenia się i rozciągania.





Funkcje układu ruchu człowieka

Obie części układu ruchu (bierna i czynna) współdziałają ze sobą i nawzajem się uzupełniają (kości stanowią podporę dla mięśni, mięśnie poruszają kośćmi) tworząc skomplikowany układ dźwigni, dzięki któremu możemy:

- poruszać się, czyli zmieniać położenia swojego ciała;
- zmieniać położenie poszczególnych części swoje ciała względem siebie (np. zginać ręce i nogi, obracać głowę itd.);
- utrzymywać pionową postawę ciała;
- osłabiać skutki działania różnego rodzaju przeciążeń, na przykład w trakcie wykonywania gwałtownych ruchów.



Mechanizm - Biomechanizm

- Mechanizm to zespół współpracujących ze sobą części składowych maszyny lub przyrządu, wykonujących określone zadanie (określoną pracę) (Doroszewski W. (red.), 1996. Słownik języka polskiego. PWN, Warszawa).
- Mechanizm to struktura zbudowana z członów sztywnych, między którymi występują połączenia ruchowe. O jego właściwościach ruchowych decyduje struktura, jak i właściwości ruchowe połączeń występujących pomiędzy poszczególnymi elementami.
- Układ ruchu człowieka zawierający człony sztywne (kości) oraz połączenia ruchowe występujące między nimi (stawy) można uznać za swoisty biomechanizm (Bober T., Zawadzki J. Biomechanika układu ruchu człowieka. Wyd. BK, Wrocław 2003).
- Mechanizm to łańcuch kinematyczny wykonujący ściśle określony ruch. Zespół mechanizmów wykonujących określoną pracę to maszyna (Felis J., Jaworowski H., Cieślik J., 2008. Teoria maszyn i mechanizmów. Część I. Analiza Mechanizmów. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków).



Zasada działania układu ruchu

UKŁAD RUCHU CZŁOWIEKA

kości → dźwignie

stawy → połączenia

mięśnie → siłowniki

(masa, środki mas, momenty bezwładności, ciężar właściwy)

ZASILANIE

(procesy energetyczne)

STEROWANIE

(procesy neurologiczne)

Źródło: Bober T., Zawadzki J., Biomechanika układu ruchu człowieka. Wydawnictwo BK, Wrocław, 2003.



Elementy niezbędne do wykonania przez mięśnie pracy zewnętrznej

Wyzwolenie potencjału czynnościowego mięśnia przez **impuls nerwowy**



Wyzwolenie **energii chemicznej** (procesy metaboliczne)



Zamiana energii chemicznej na **pracę mechaniczną** układu ruchu



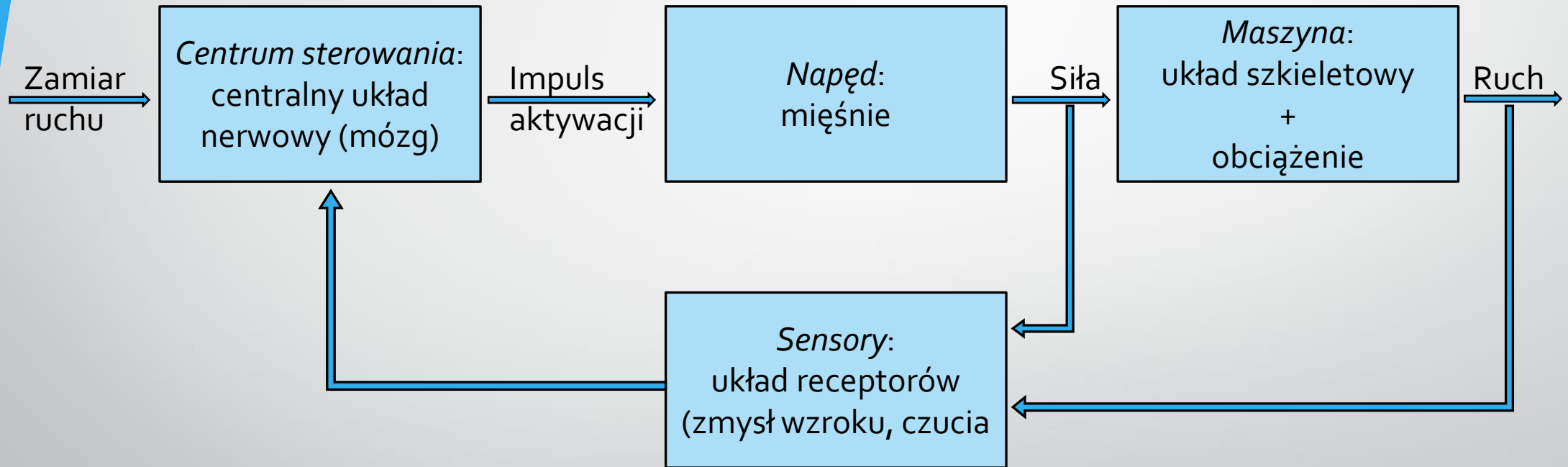
Pracy mechanicznej towarzyszy **wytworzenie energii cieplnej**, której część jest rozpraszana



Źródło: Bober T., Zawadzki J., Biomechanika układu ruchu człowieka. Wydawnictwo BK, Wrocław, 2003.



Mechanizm kontroli ruchu





Przepływ informacji w organizmie człowieka

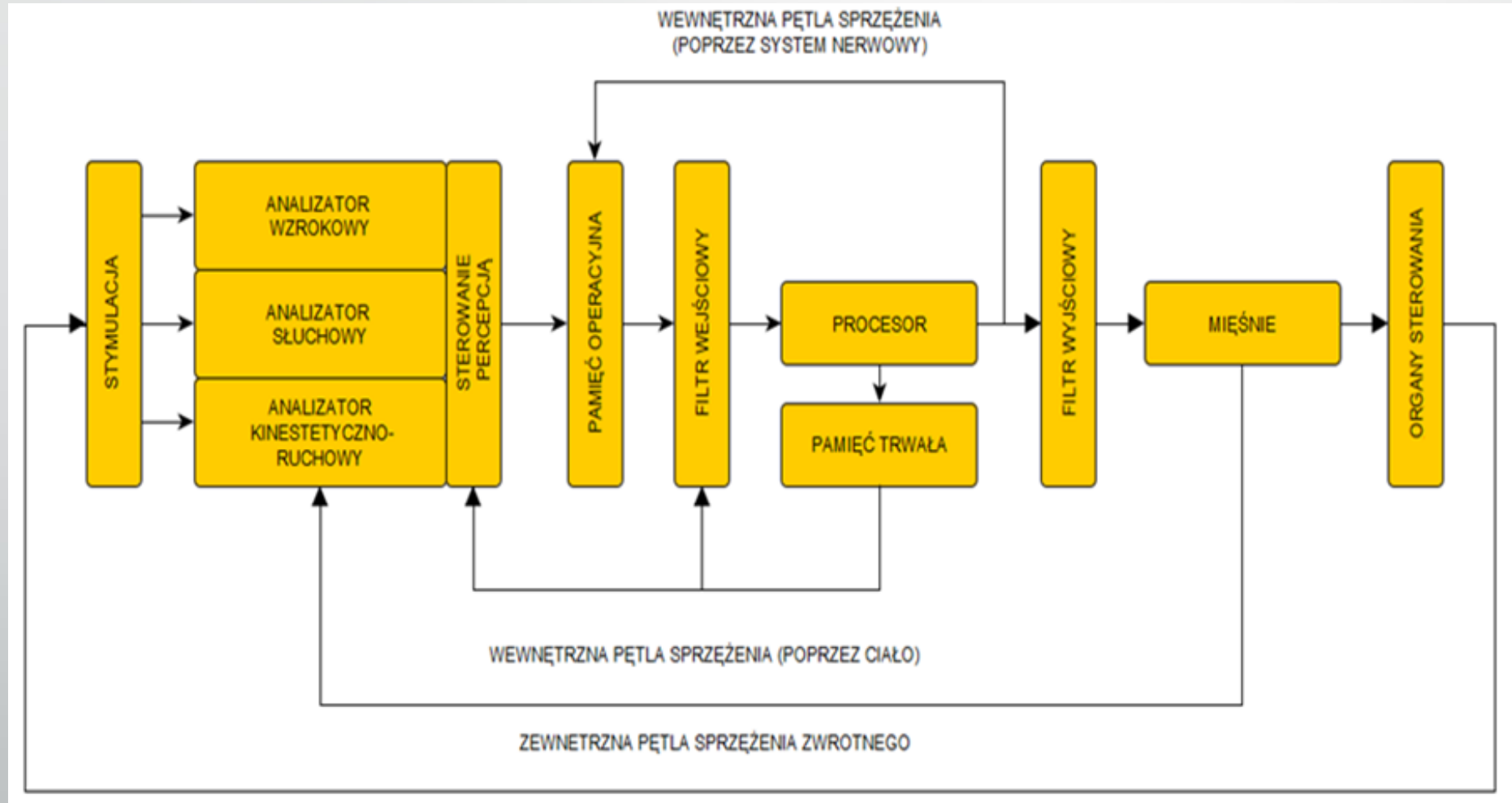
Bodźce są przekazywane do mózgu człowieka poprzez receptory oddziałujące na jego zmysły.

Mózg jest pewnego rodzaju procesorem, w którym bodźce w postaci impulsów są przekazywane do efektorów w postaci reakcji nieświadomych (reakcje wegetatywne, odruchy) oraz w postaci reakcji świadomych.

Sprzężenie zwrotne jest mechanizmem sterowania systemem, w którym wyniki uzyskane z zadania lub działania są wprowadzane z powrotem do systemu w celu wpłynięcia na przyszłe decyzje lub działania, albo w celu utrzymania równowagi w systemie, albo w celu popchnięcia systemu w kierunku nowej, skorygowanej równowagi.



Przepływ informacji w organizmie człowieka

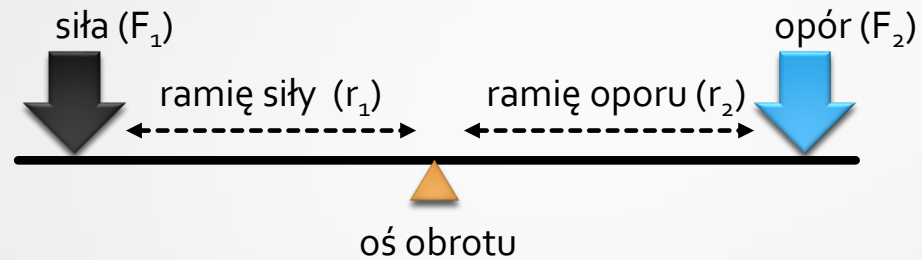


Model przepływu informacji wg Reason'a

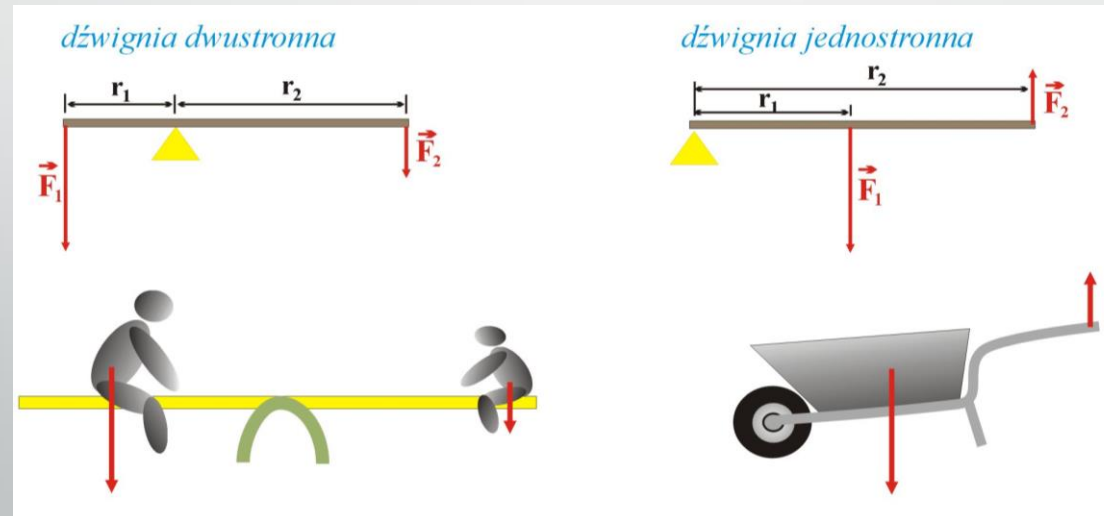


Zasada działania dźwigni

Dźwignie – proste mechanizmy służące do zmiany wywieranej siły poprzez użycie odpowiedniego ramienia i momentu

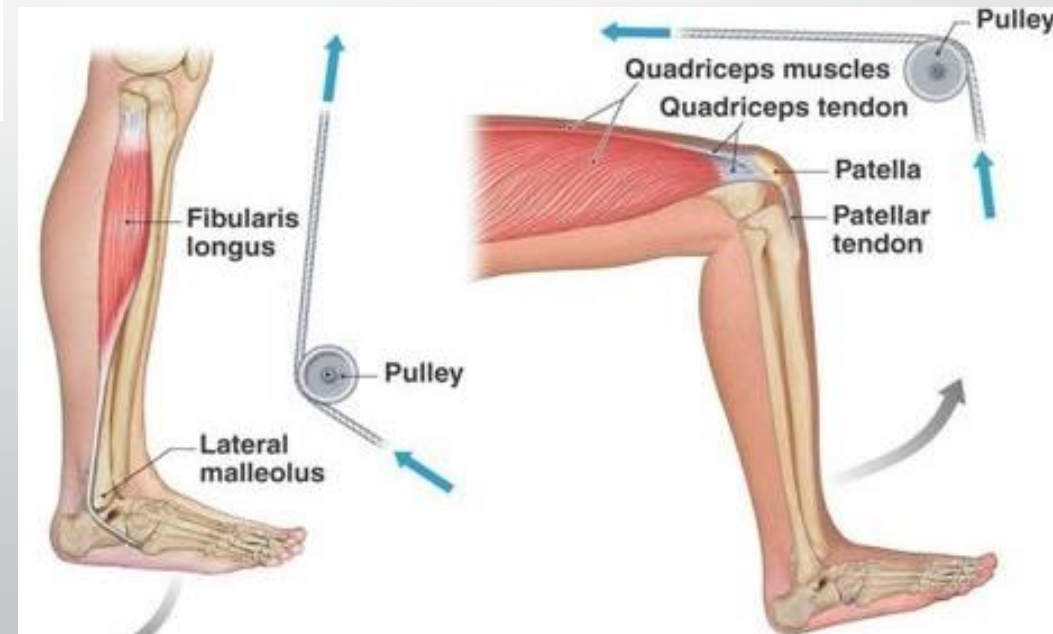
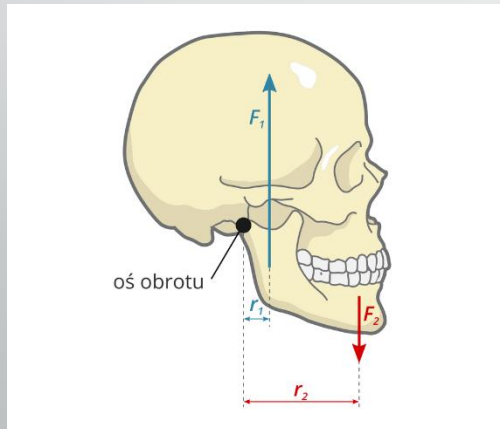
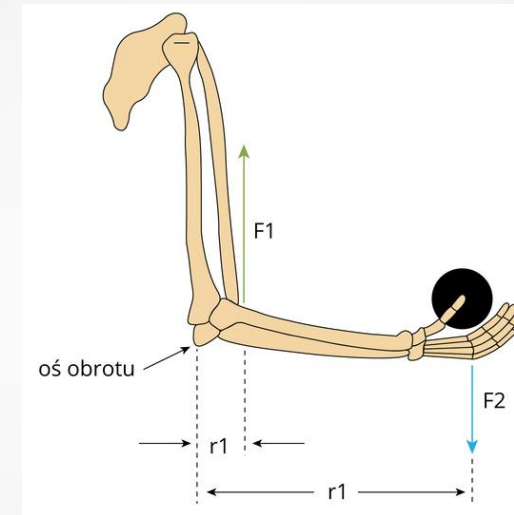
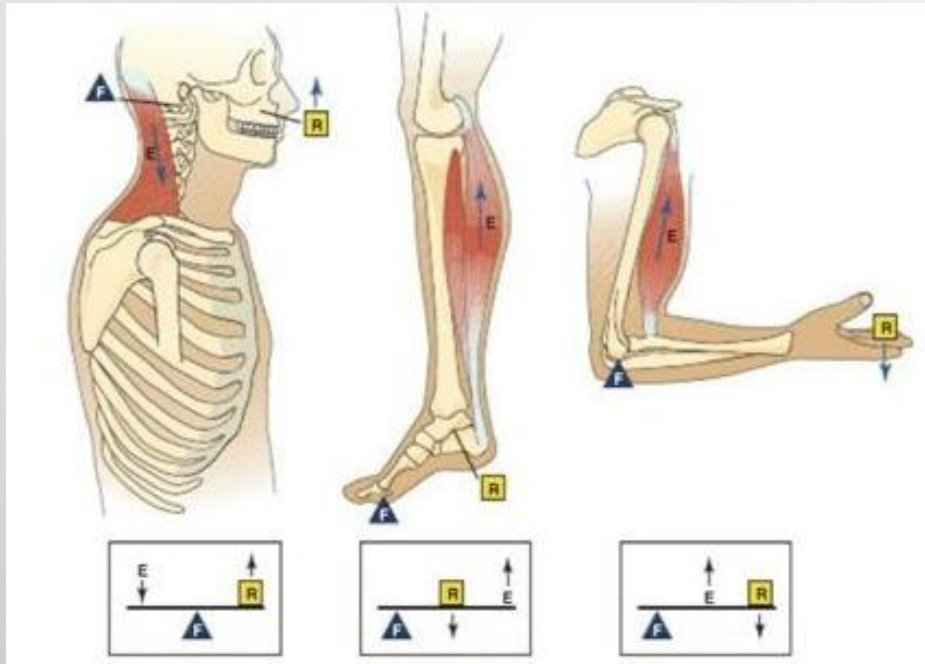


Aby dźwignia pozostała w równowadze spełniony musi być warunek: **$F_1 \times r_1 = F_2 \times r_2$**





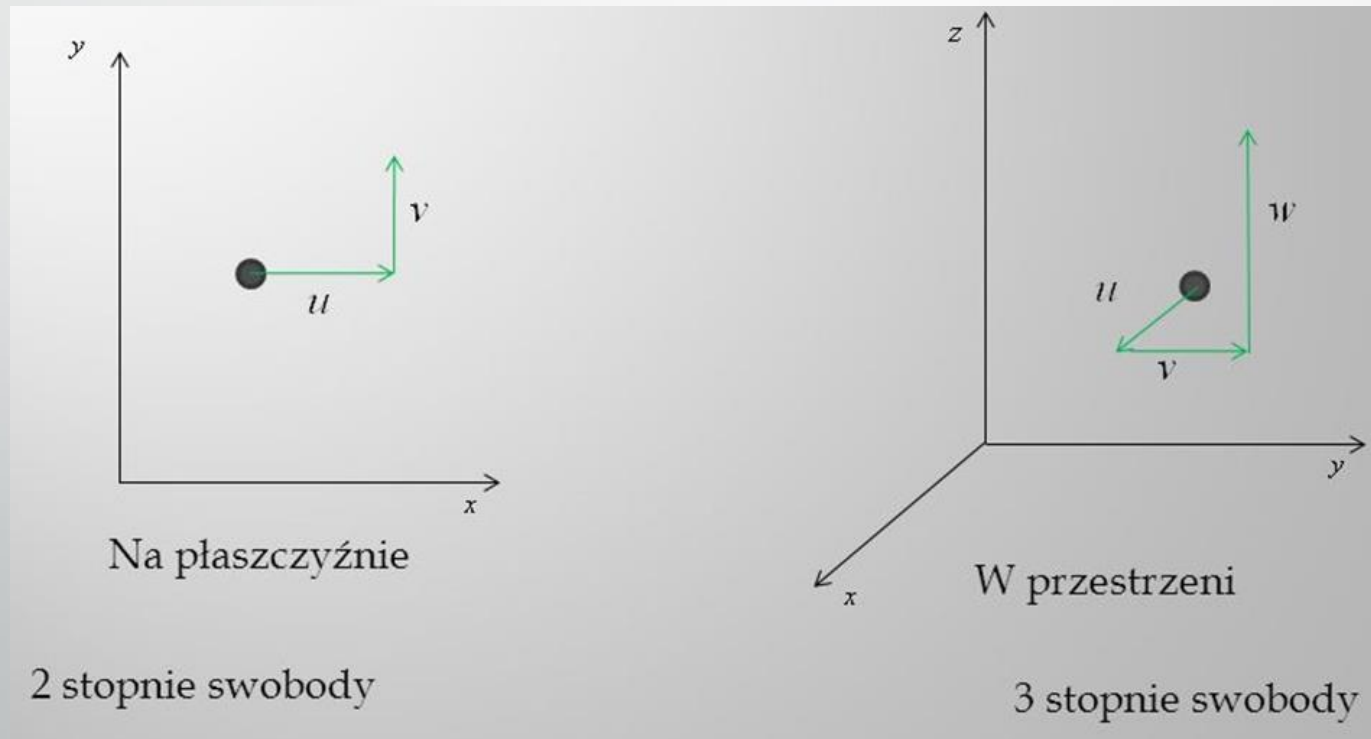
Maszyny proste w ciele człowieka





Położenie w przestrzeni punktu materialnego

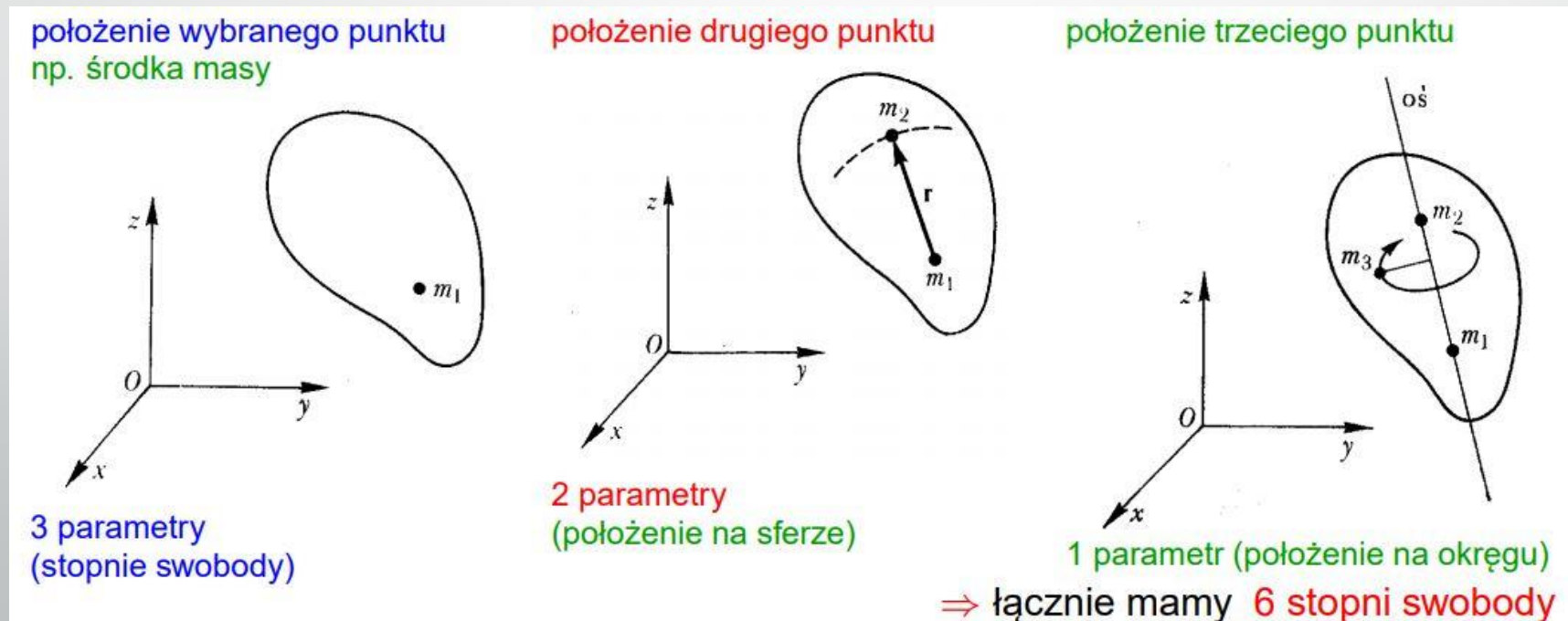
- Punkt materialny - ciało posiadające masę, ale nie mające objętości. Ciało takie nie może obracać się wokół własnej osi ani wykonywać ruchu drgającego.
- Położenie punktu materialnego opisują max. 3 współrzędne:





Położenie w przestrzeni bryły sztywnej

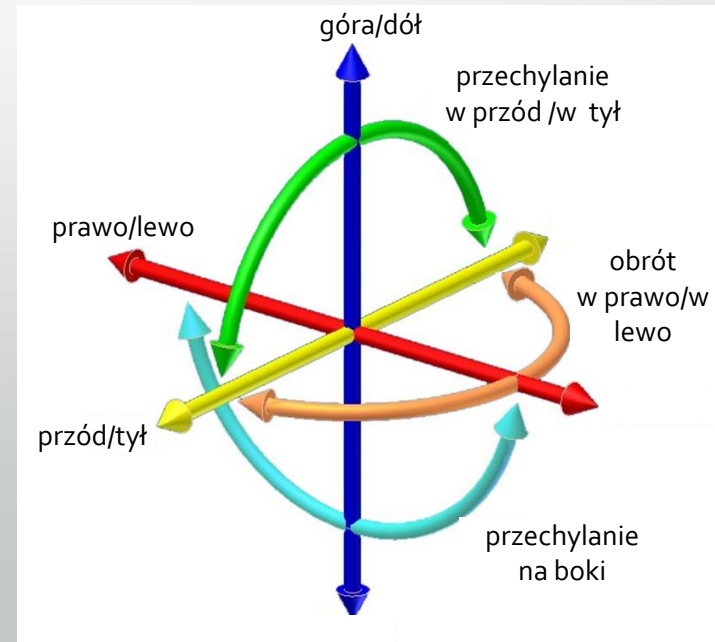
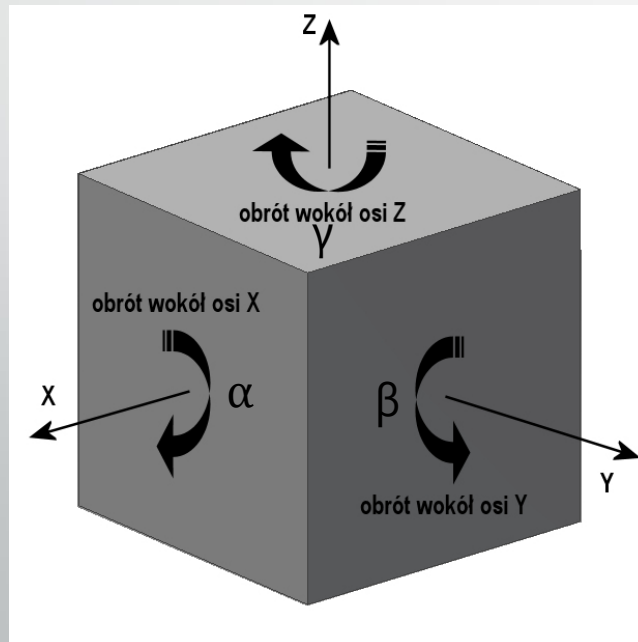
- W oparciu o pojęcie środka masy możemy opisać ruch układu (np. bryły sztywnej) jako całości stosując równania ruchu punktu materialnego.
- Opis przestrzennego położenia bryły sztywnej wymaga określenia położenia 3 punktów: np. środka masy i dwóch dodatkowych punktów.
- Bryłę sztywną o sześciu st. sw. opisują 3 współrzędne i 3 kąty:





Ruch przestrzenny bryły sztywnej

- Ruch dowolny bryły sztywnej w otaczającej go przestrzeni stanowi sumę dwóch niezależnych rodzajów ruchów: postępowego (translacyjnego) i obrotowego (rotacyjnego).
- Każdy z ruchów jest ruchem niezależnym – nie można go przedstawić jako kombinacji pozostałych ruchów.
- Ciało swobodne, na które nie zostały nałożone żadne więzy, będzie miało 6 stopni swobody – jego ruchliwość wynosi 6 st. sw.





Para kinematyczna

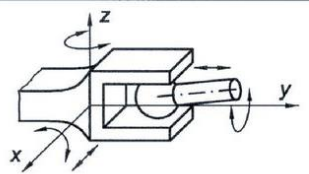
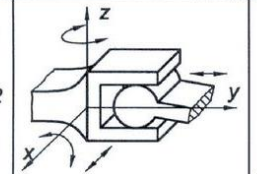
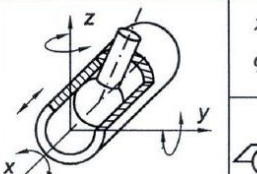
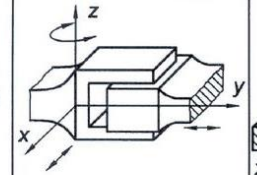
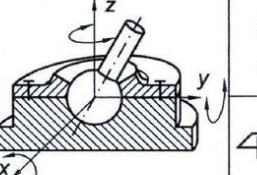
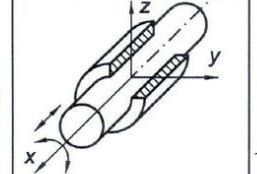
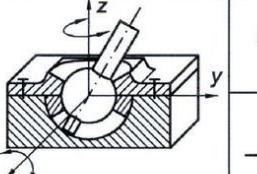
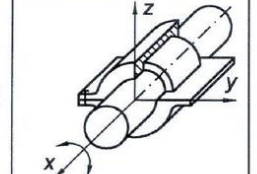
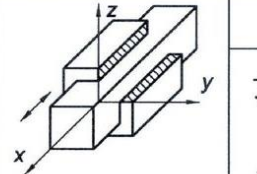
- Para kinematyczna – ruchowe połączenie dwóch dźwigni (członów sztywnych) mechanizmu.
- Para kinematyczna – ruchowe połączenie dwóch członów sztywnych (elementów ciała ludzkiego w postaci kości) wzajemnie ograniczające lub umożliwiające ich ruchy względne.
- Para kinematyczna odbiera część stopni swobody członom przez nią związanym.
- Podziały par kinematycznych wg: rodzaju styku członów lub stopni swobody ruchu względnego.
- Ruchliwość pary kinematycznej - liczba stopni swobody ruchu jednego z członów pary względem drugiego, unieruchomionego.

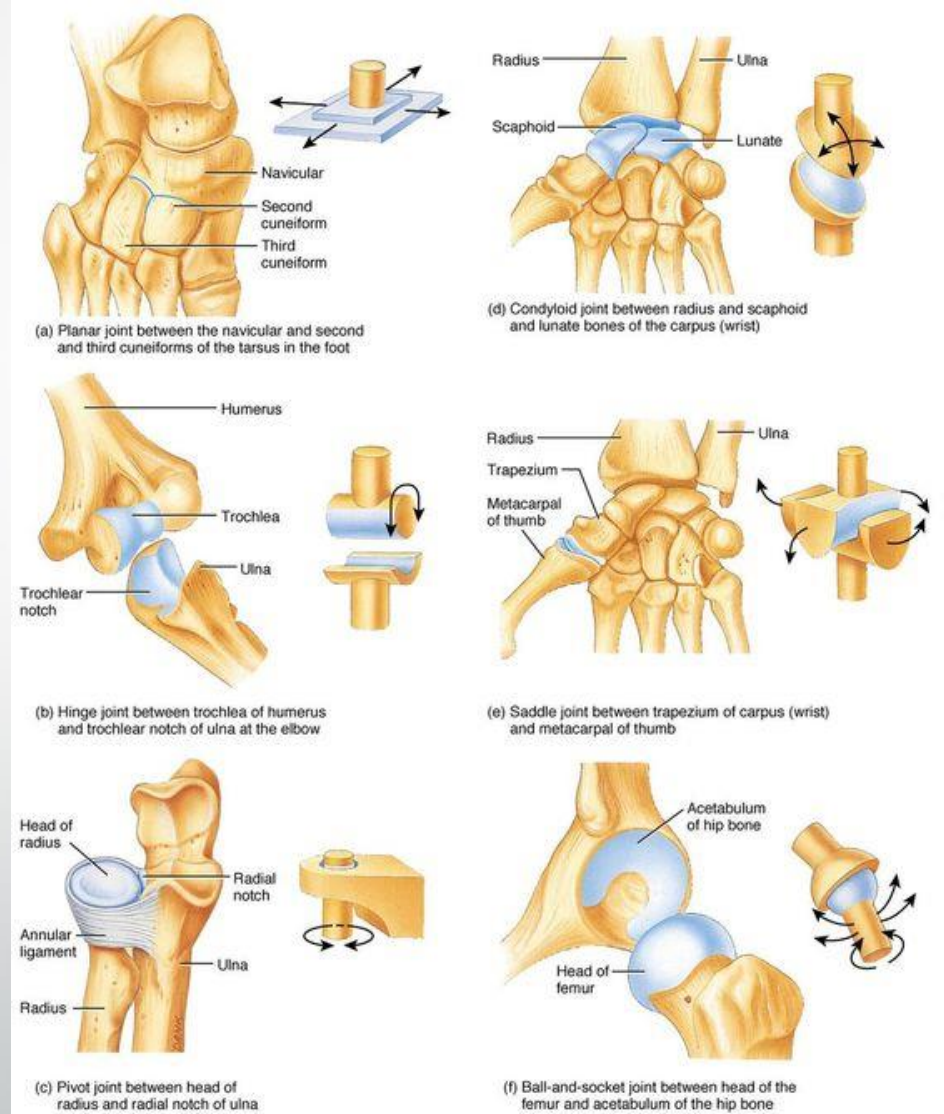


Klasa pary kinematycznej

- Klasa pary kinematycznej - liczba stopni swobody (spośród sześciu) odebranych jednemu członowi przez współpracujący z nim drugi człon mechanizmu w wyniku nałożenia na nie więzów (połączeń) tworzących parę kinematyczną.
- Pary kinematyczne dzieli się na klasy w zależności od ilości więzów oraz w od tego jakie rodzaju ruchu są przez parę ograniczone.
- W zależności od liczby ograniczeń więzów wyróżnia się 5 klas połączeń członów, czyli pary kinematyczne od I do V klasy. Klasę pary kinematycznej określamy z zależności: $i = 6 - s$ (gdzie s oznacza liczbę pozostawionych stopni swobody).
- Suma liczb wyrażających ruchliwość pary kinematycznej i jej klasę zawsze wynosi sześć: para o 3 st. sw. jest parą klasy III (ma nałożone 3 więzy), a para o 2 st. sw. jest parą klasy IV (ma nałożone cztery więzy).

Klasyfikacja par kinematycznych mechanizmów

Klasa	Schemat konstrukcyjny pary kinematycznej		Pozostawione stopnie swobody s	
	Postać - 1	Postać - 2	Schemat kinematyczny	
$i=1$			$x, y,$ $\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$	
$i=2$			$x, y,$ φ_x, φ_z	$x,$ $\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$
$i=3$			$x, y,$ φ_z	$\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$
$i=4$			x, φ_x	φ_x, φ_z
$i=5$			φ_x	x

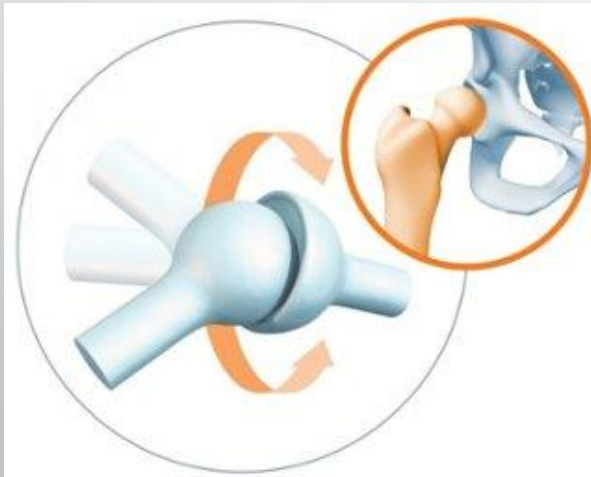


Źródło: Felis J., Jaworowski H., Cieřlik J., 2008. Teoria maszyn i mechanizmów. Część I. Analiza Mechanizmów. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków



Klasyfikacja par kinematycznych układu ruchu

- W układzie ruchu człowieka występują tylko pary obrotowe i dlatego stawy są połączeniami klasy III, IV lub V.
- Wynika to z jednostronnego charakteru napędu mięśniowego, który może tylko ciągnąć, a nie może popychać członów.
- Pary kinematyczne klasy III (stawy wieloosiowe): **staw kulisty** (np. staw biodrowy), **staw eliptyczny** (np. staw promieniowo-nadgarstkowy), **staw płaski** (np. połączenia stawowe kości nadgarstka).



staw kulisty



staw eliptyczny



staw płaski

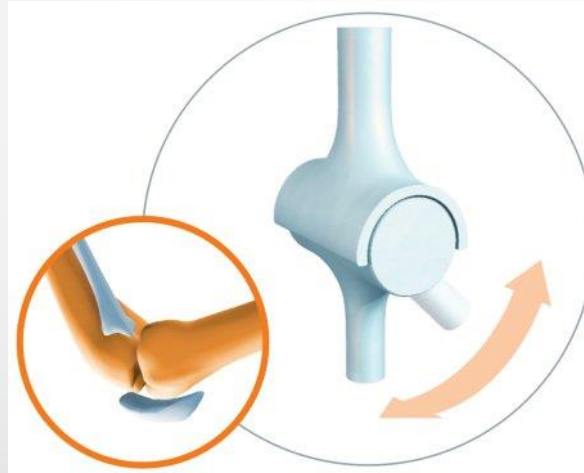


Klasyfikacja par kinematycznych układu ruchu

- Pary kinematyczne klasy IV (stawy dwuosiove): staw kłykciowy (np. staw promieniowo-nadgarstkowy), **staw siodełkowy (staw nadgarstkowo-śródręczny kciuka)**.



staw siodełkowy



staw zawiasowy



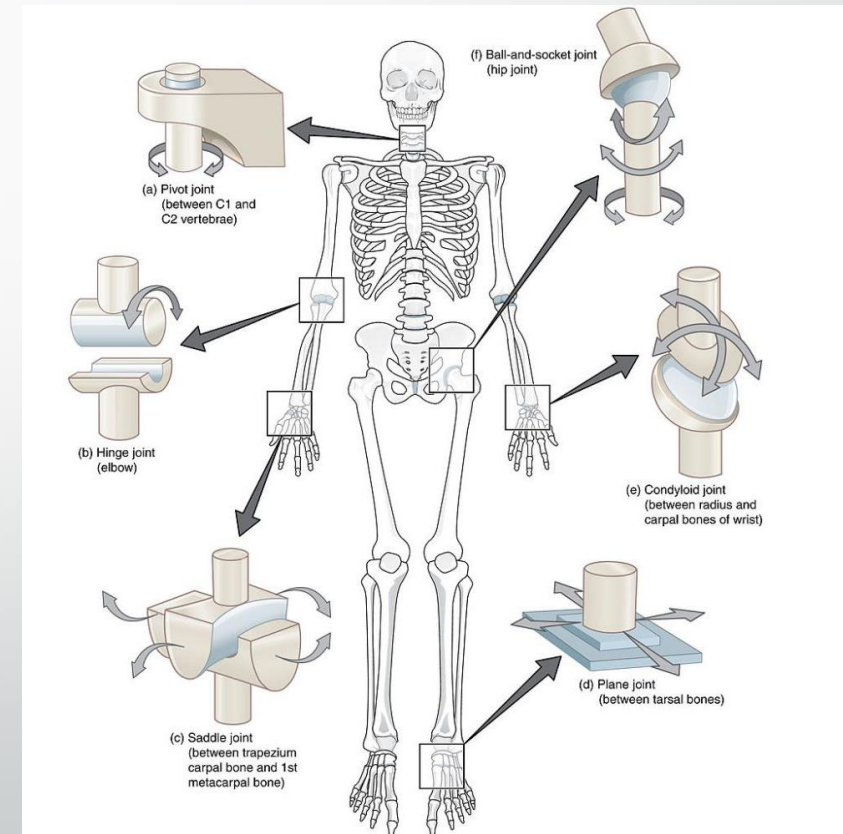
staw śrubowy

- Pary kinematyczne klasy V (stawy jednoosiowe): **staw zawiasowy (np. staw kolanowy)**, staw obrotowy (np. staw promieniowo-łokciowy bliższy), **staw śrubowy (np. staw szczytowoobrotowy pośrodkowy C1-C2)**



Klasyfikacja par kinematycznych układu ruchu

Klasa pary	Liczba więzi	Liczba stopni swobody	Przykłady	Symbol
VI	6	0	Połączenie ściśle: więzozrosty, chrząstkozrosty, kośćcozrosty, szwy, wklínowanie	
V	5	1	Stawy jednoosiowe: obrotowe, zawiasowe, bloczkowe, śrubowy, nieregularne	
IV	4	2	Stawy dwuosiowe: eliptyczne, kłykciowe, łokciowy (całość), skokowy (górny i dolny), siodełkowaty	
III	3	3	Stawy wieloosiowe: kulisty wolny, kulisty panewkowy, kręgosłup jako całość, stawy nietypowe	





Łańcuch kinematyczny

- Łańcuch kinematyczny – spójna struktura zbudowana z członów połączonych w pary kinematyczne. Łańcuchem biokinematycznym może być palec, ręka lub cała kończyna, odcinek kręgosłupa, cały kręgosłup lub tułów.
- Łańcuch kinematyczny otwarty to łańcuch, w którym tylko jeden z członów zewnętrznych jest połączony ruchowo z podstawą (ostoją).
- Łańcuch kinematyczny zamknięty to łańcuch, w którym co najmniej dwa człony zewnętrzne są połączone ruchowo z podstawą.





Ruchliwość łańcucha kinematycznego

- Liczba stopni swobody względem nieruchomej podstawy, którą posiada dowolny układ członów (łańcuch kinematyczny) jest miarą jego **ruchliwości**.
- Ruchliwością mechanizmu „w” nazywamy liczbę więzów, które należałoby narzucić na człony, aby łańcuch kinematyczny mechanizmu był nieruchomy względem podstawy. Jest to zatem liczba stopni swobody mechanizmu względem podstawy.
- Ruchliwość „w” jest równa liczbie napędów, które należy przyłożyć do łańcucha kinematycznego, aby wykonywał on ściśle określony ruch czyli był mechanizmem.



Ruchliwość mechanizmu przestrzennego

Ruchliwość mechanizmu przestrzennego składającego się z łańcuchów kinematycznych wyraża się wzorem:

$$w = 6 \times n - \sum_{i=1}^5 i \times p_i$$

gdzie:

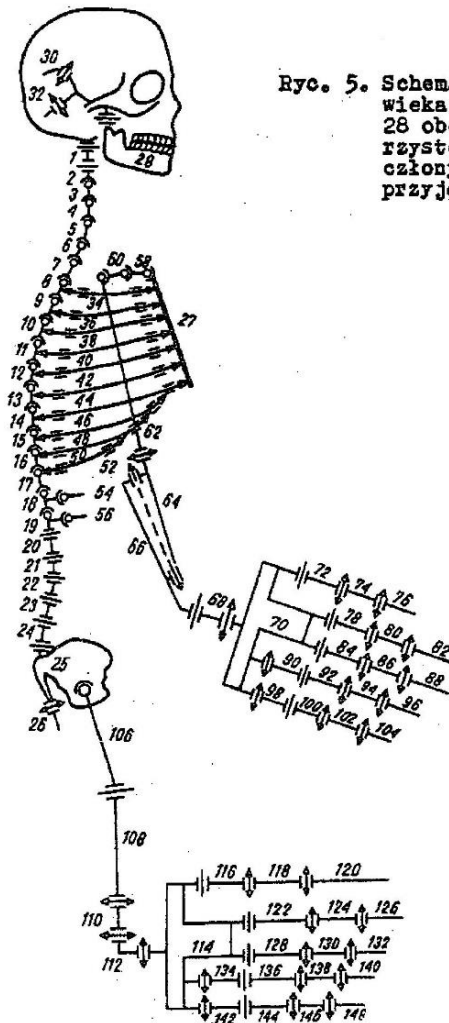
n - liczba ruchomych członów łańcucha kinematycznego,

$\sum_{i=1}^5 i \times p_i$ - całkowita liczba odebranych stopni swobody przez wszystkie pary kinematyczne,

i - klasa par występujących w łańcuchu kinematycznym, dla ciała człowieka $i = 1, 2, 3$,

p_i - liczba par kinematycznych i -tej klasy.

Schemat strukturalny układu ruchu człowieka



Ryc. 5. Schemat strukturalny człowieka. Numeracja od 1 do 28 obejmuje człony nieparzyste, od 30 do 148 - człony parzyste. Czaszkę przyjęto jako podstawę

(potraktowany jako łańcuch biokinematyczny)

składa się z:

148 członów ruchomych (względem podstawy czaszki),
połączonych w 147 par kinematycznych
o ruchliwości 244 st. sw.

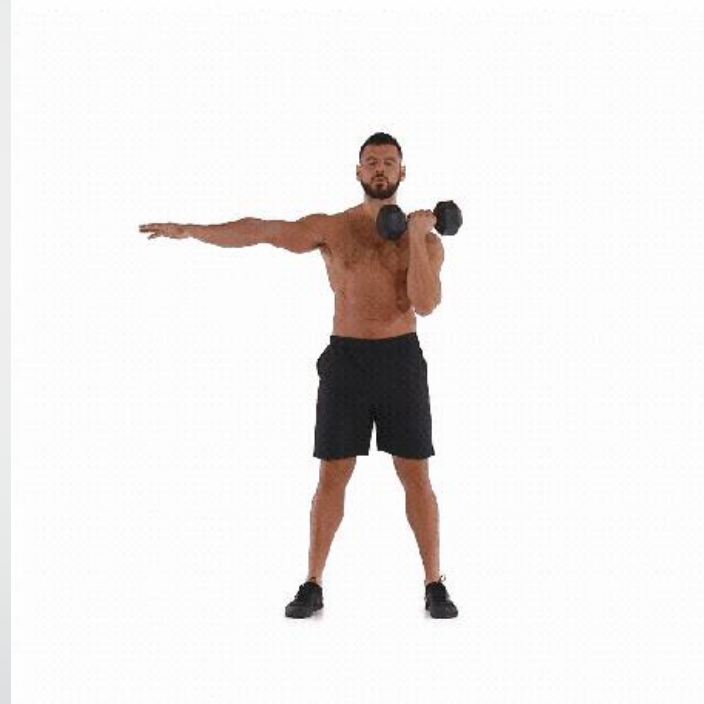
Zawiera:

- 29 par kinematycznych III klasy (3 stopnie swobody)
- 33 par kinematycznych IV klasy (2 stopnie swobody)
- 85 par kinematycznych V klasy (1 stopień swobody)

Źródło: Fidelus K. Zarys biomechaniki ćwiczeń fizycznych. Wyd. AWF, Warszawa, 1989.

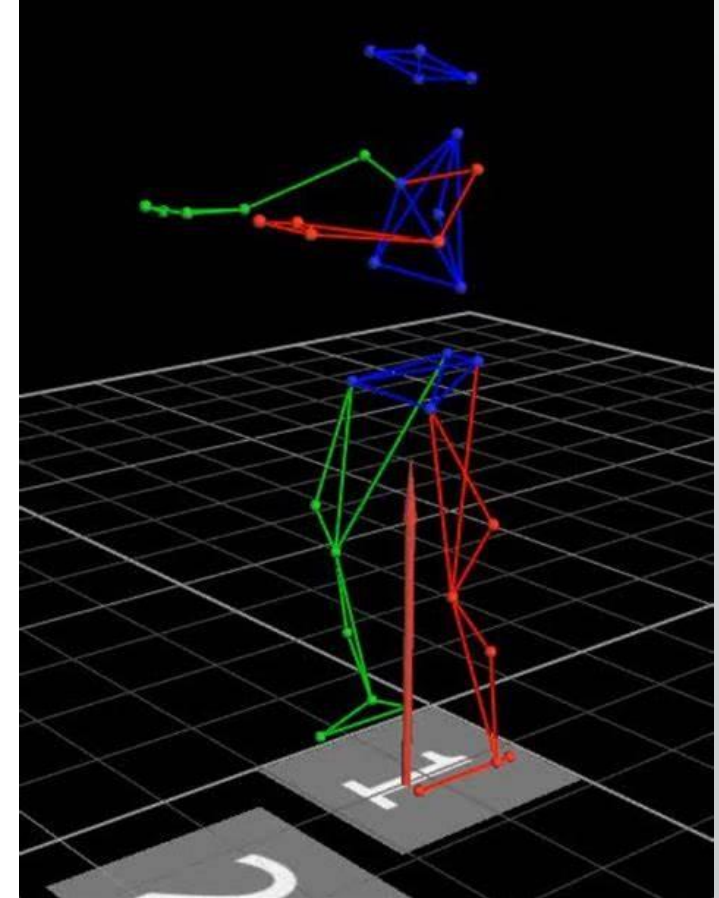
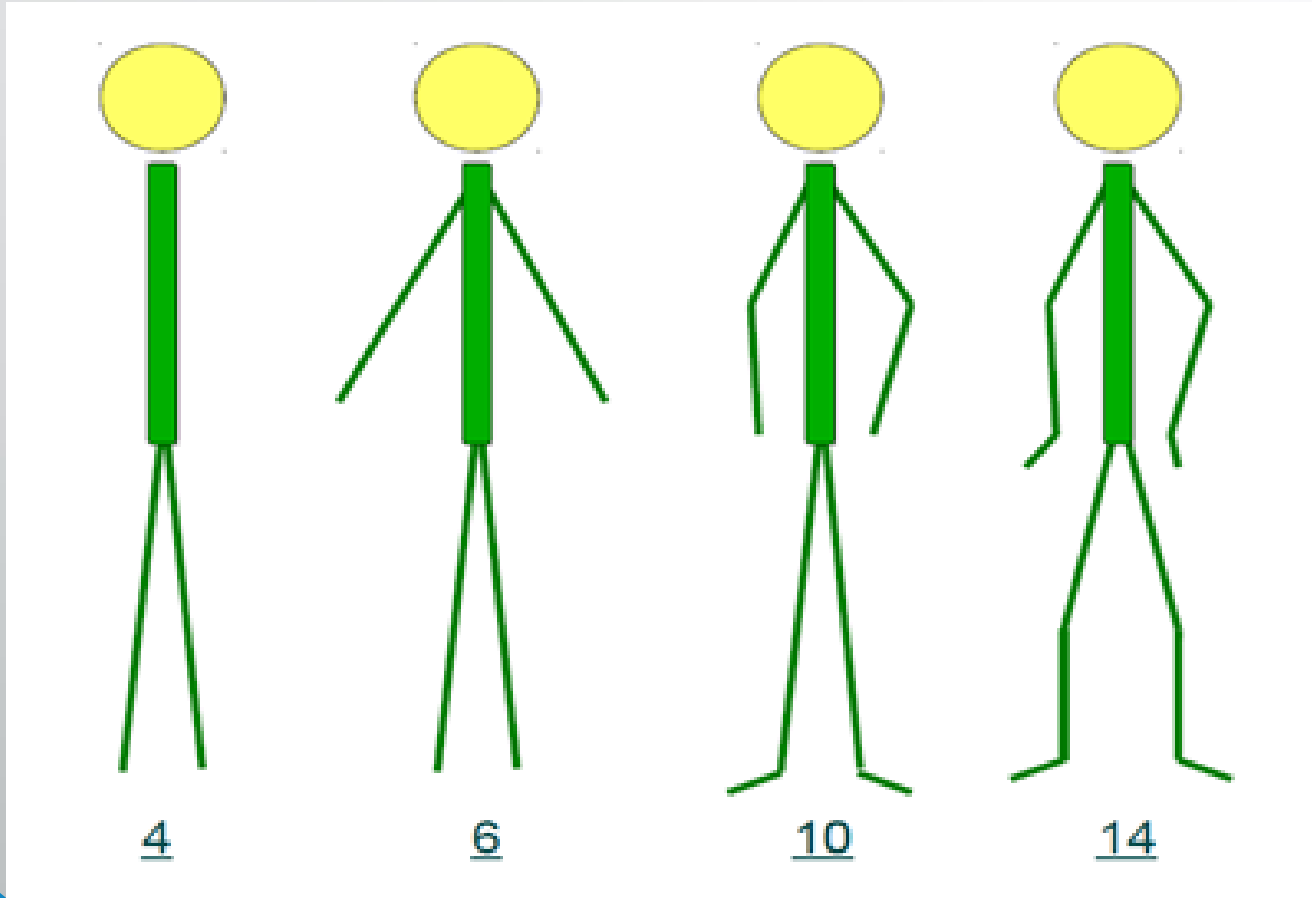


Przykłady wykorzystania łańcuchów biokinematycznych





Modele ciała człowieka w analizie ruchu





14-segmentowy model ciała człowieka

Segment	Początek	Koniec
Głowa (wraz z szyją)	Szczyt głowy - <i>vertex</i>	Wcięcie jarzmowe na mostku - <i>suprasternale</i>
Tułów	Wcięcie jarzmowe na mostku - <i>suprasternale</i>	Spojenie łonowe – <i>symphosion</i>
Ramię	Oś stawu ramennego: 2,5 cm poniżej wyrostka barkowego	Oś stawu łokciowego: linia przesunięta o 1 cm w dół od linii łączącej nadkłykcie kości ramiennej - <i>radiale</i>
Przedramię	Oś stawu łokciowego: linia przesunięta o 1 cm w dół od linii łączącej nadkłykcie kości ramiennej - <i>radiale</i>	Oś stawu promieniowo-nadgarstkowego; punkt w połowie odcinka łączącego wyrostki rylcowate kości łokciowej i promieniowej
Ręka	Oś stawu promieniowo-nadgarstkowego; punkt w połowie odcinka łączącego wyrostki rylcowate kości łokciowej i promieniowej	Koniec palca III - <i>dactylion</i>
Udo	Oś stawu biodrowego (dla ruchów w płaszczyźnie strzałkowej): punkt przesunięty ok. 1 cm do przodu od wierzchołka krętarza większego	Oś stawu kolanowego: 2,5 cm powyżej szczeliny stawu kolanowego na granicy środkowej i tylnej części wymiaru strzałkowego kolana dzieląc go na trzy części
Podudzie	Oś stawu kolanowego: 2,5 cm powyżej szczeliny stawu kolanowego na granicy środkowej i tylnej części wymiaru strzałkowego kolana dzieląc go na trzy części	Oś stawu skokowo-goleniowego: ok. 0,8 cm powyżej szczytu kostki bocznej
Stopa	Guz piętowy - <i>pternion</i>	Palec I lub palec II - <i>acropodion</i>



Wyznaczanie mas segmentów ciała

Metoda szacunkowa: względne masy części ciała człowieka w % ciężaru całkowitego na podstawie podobieństwa budowy ciała w populacji i danych wyznaczonych doświadczalnie:

Źródło	Braune i Fischer (1889)	Clauser i wsp. (1969)	Zatziorsky i wsp. (1981)
Liczba próbek	3	13	100
Jednostka	M %	M %	M %
Części ciała			
Głowa	7,0	7,3	6,9
Tułów	46,1	50,7	43,5
Ramię	2,9	2,6	2,7
Przedramię	2,1	1,6	1,6
Ręka	0,8	0,7	0,6
Udo	10,7	10,3	14,2
Podudzie	4,8	4,3	4,3
Stopa	1,7	1,5	1,4

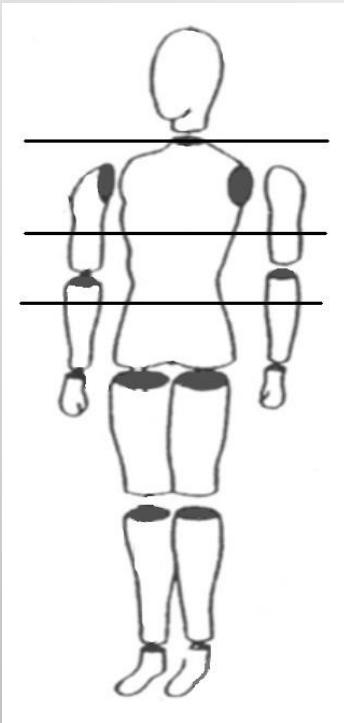
Źródło: Bober T., Zawadzki J., Biomechanika układu ruchu człowieka. Wydawnictwo BK, Wrocław, 2003.



Wyznaczanie mas segmentów ciała

Metoda wykorzystująca równania regresji – względne masy części ciała człowieka w % ciężaru całkowitego wyznaczonych doświadczalnie, uwzględniających wymiary dla 16-segmentowego modelu ciała.

Według Zatziorsky'ego i wsp. (badania na osobach żywych), gdzie Q – ciężar ciała w kG; W – wysokość ciała w cm.



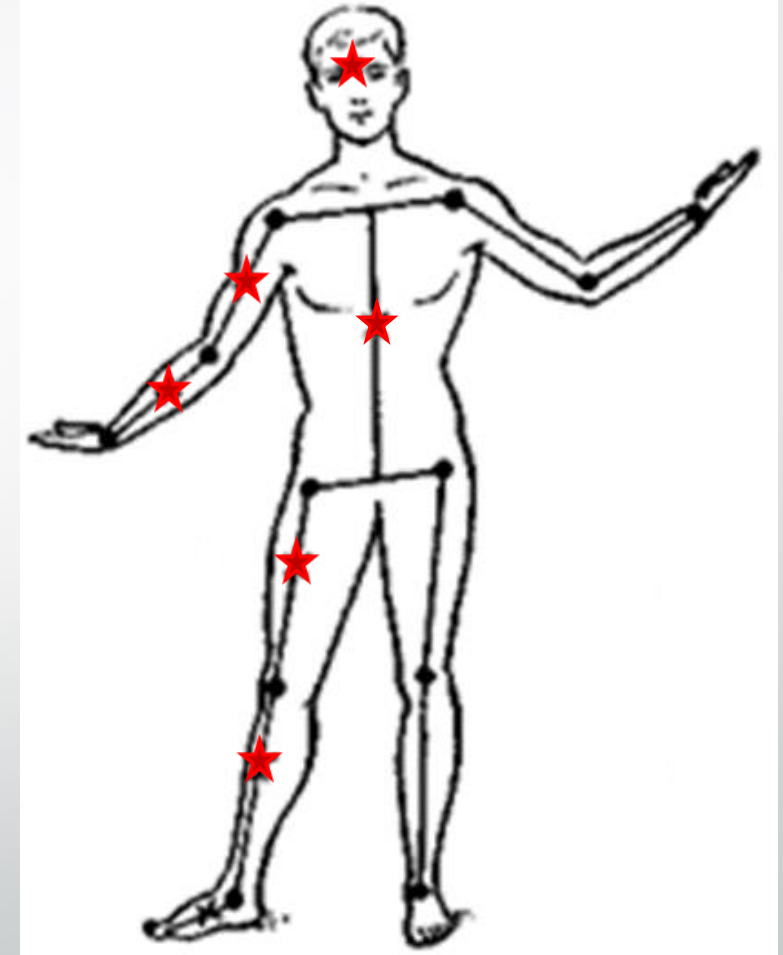
Segment ciała:	Równanie regresji
Głowa	$1,296 + 0,0171 Q + 0,0143 W$
Górna część tułowia	$8,2144 + 0,1862 Q - 0,0584 W$
Środkowa część tułowia	$7,181 + 0,2234 Q - 0,0663 W$
Dolna część tułowia	$-7,498 + 0,0976 Q + 0,04896 W$
Ramię	$0,25 + 0,03012 Q - 0,0027 W$
Przedramię	$0,3185 + 0,01445 Q - 0,00114 W$
Ręka	$-0,1165 + 0,0036 Q + 0,00175 W$
Udo	$-2,649 + 0,1463 Q + 0,0137 W$
Podudzie	$-1,592 + 0,0362 Q + 0,0121 W$
Stopa	$-0,829 + 0,0077 Q + 0,0073 W$

Źródło: Bober T., Zawadzki J., Biomechanika układu ruchu człowieka. Wydawnictwo BK, Wrocław, 2003.



Środek ciężkości segmentów ciała

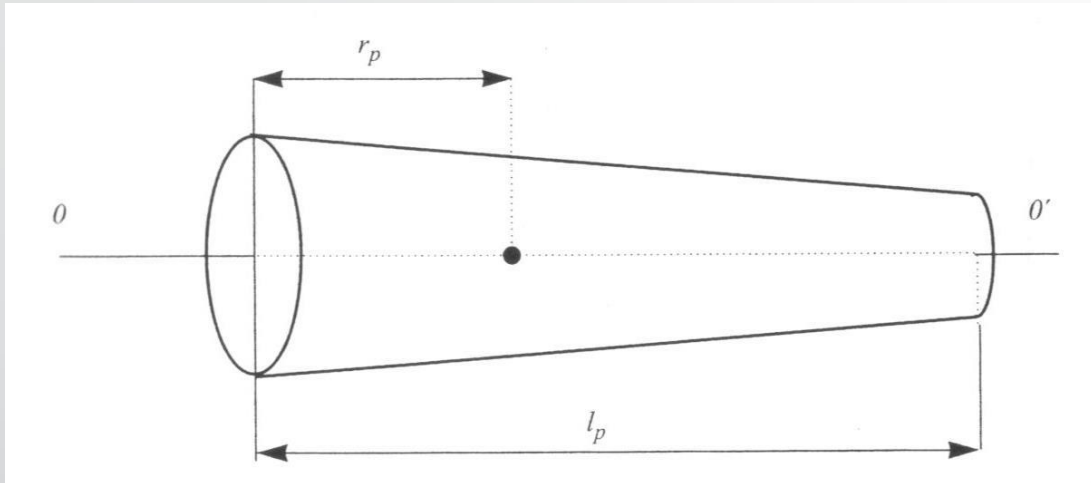
- **Środek masy** - jest to punkt, którym można zastąpić ciało lub rozpatrywany układ ciał punktem materialnym, jeżeli układ określony jest w jednorodnym polu grawitacyjnym. Środek masy ciała to punkt, który porusza się tak jak gdyby skupiona w nim była cała masa ciała a wszystkie siły zewnętrzne przyłożone w tym właśnie punkcie. Można wyobrazić sobie, że jeśli ciało porusza się to środek masy porusza się w ten sam sposób.
- **Środek ciężkości** - jest to punkt przyłożenia wypadkowej sił ciężkości działających na ciało w dowolnych położeniach ciała w przestrzeni - punkt, który należy podeprzeć, aby ciało było w równowadze. Ogólnie mówiąc, jeśli ciało lub układ ciał znajduje się w jednorodnym polu grawitacyjnym to środek ciężkości i środek masy znajduje się w tym samym punkcie.





Lokalizacja środka ciężkości segmentów ciała

Wyznaczanie środka ciężkości przedramienia na podstawie danych Zatziorsky'ego z tabeli na slajdzie 32:



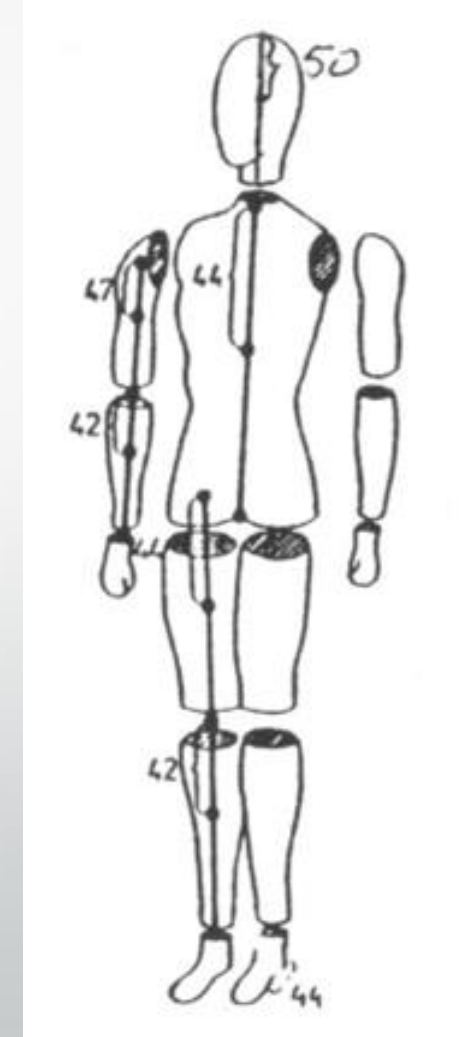
$$r_p = l_p \cdot \frac{42,7\%}{100\%}$$

$O - O'$ oś symetrii przedramienia,

r_p – promień wodzący środka ciężkości przedramienia

l_p – długość przedramienia

Wyliczone wartości mierzone są zawsze od stawu wyższego!





Wyznaczanie środka ciężkości segmentów ciała

Metoda szacunkowa – środki ciężkości części ciała w % ich długości na podstawie podobieństwa budowy ciała w populacji i danych „literaturowych” wyznaczonych doświadczalnie.

Źródło	Braune i Fischer (1889)	Clauser i wsp. (1969)	Zatziorsky i wsp. (1981)	Wymiar
Liczba próbek	3	13	100	
Jednostka	r %	r %	r %	
Części ciała				
Głowa	siodełko tureckie kości klinowej	46,6	50,0	<i>Vertex - SC</i>
Tułów	44,0	38,0	44,5	<i>Suprasternale - SC</i>
Ramię	47,0	51,3	45,0	<i>Oś stawu - SC</i>
Przedramię	42,1	39,0	42,7	<i>Oś stawu - SC</i>
Ręka	okolica głowy trzeciej kości śródręcza	48,0	37,0	<i>Oś stawu - SC</i>
Udo	44,0	37,2	45,5	<i>Oś stawu - SC</i>
Podudzie	42,0	37,1	40,5	<i>Oś stawu - SC</i>
Stopa	44,45	44,9	44,1	<i>Pternion - SC</i>
OSC	-	41,2	-	<i>Vertex - SC</i>



Wyznaczanie środka ciężkości segmentów ciała

Metoda wykorzystująca równania regresji – środki ciężkości części ciała w % ich długości.

Gdzie: Q – ciężar ciała w **N**; W – wysokość ciała w **cm**

Jednostką ciężaru (siły) jest niuton (N) (stara jednostka siły: 1 kG = 9,81 N), jednostką masy jest kilogram (kg), różnica wynika z przyspieszenia ziemskiego 9,81 m/s².

Części ciała	Równanie regresji	Odległość
Głowa	$8,357 - 0,0025 Q + 0,0230 W$	<i>Vertex - SC</i>
Górna część tułowia	$3,320 + 0,0076 Q + 0,0470 W$	<i>Suprasternale - SC</i>
Środkowa część tułowia	$1,398 + 0,0058 Q + 0,0450 W$	<i>Xyphoidale - SC</i>
Dolna część tułowia	$1,182 + 0,0018 Q + 0,0434 W$	<i>Umbilicus - SC</i>
Ramię	$1,670 + 0,0300 Q + 0,0540 W$	<i>Akromion - SC</i>
Przedramię	$0,192 - 0,0280 Q + 0,0930 W$	<i>Radiale - SC</i>
Ręka	$4,110 + 0,0260 Q + 0,0330 W$	<i>Stylian - SC</i>
Udo	$-2,420 + 0,0380 Q + 0,1350 W$	<i>Iliocristale - SC</i>
Podudzie	$-6,050 - 0,0390 Q + 0,1420 W$	<i>Tibiale - SC</i>
Stopa	$3,767 + 0,0650 Q + 0,0330 W$	<i>Pternion - SC</i>



Wyznaczanie środka ciężkości segmentów ciała

Jednostką siły w **Międzynarodowym Układzie Jednostek Miar SI** (*System International d'Unites*) jest niuton. Przykładowe jednostki wielkości w układzie SI to:

Wielkość	Nazwa	Symbol
Długość	metr	m
Masa	kilogram	kg
Czas	sekunda	s
Natężenie prądu elektrycznego	amper	A
Siła	niuton	N
Moment obrotowy	niutonometr	Nm
Moc	wat	W
Energia (praca)	dżul	J
Ciśnienie	paskal	Pa
Temperatura	kelwin	K

1 N to siła, z jaką trzeba działać na ciało o masie 1 kg, aby nadać mu przyspieszenie równe 1 m/s^2 .

1 N to siła z jaką ziemską grawitacja oddziałuje na ciało o masie około $0,10198 \text{ kg} \approx 102 \text{ g}$ (np. małe jabłko).

Na powierzchni Ziemi na ciało o masie 1 kg działa siła skierowana w dół o wartości około 9,81 N.



Wyznaczanie środka ciężkości segmentów ciała

Niuton to jednostka siły w układzie SI, podczas gdy **kilogram to jednostka masy**. Aby przeliczyć ile kg to 100 niutonów, musimy wykorzystać zależność między siłą a masą, wyrażoną przez **drugie prawo Newtona: siła = masa × przyspieszenie**.

Na poziomie Ziemi, przy przyspieszeniu grawitacyjnym około $9,81 \text{ m/s}^2$, możemy obliczyć, że 100 N odpowiada masie około 10,2 kg. Innymi słowy, siła o wartości 100 N, działająca na ciało o masie 10,2 kg, nadaje mu przyspieszenie równe przyspieszeniu grawitacyjnemu na Ziemi. Ta zależność pozwala nam wyznaczyć wartość przelicznika siły i łatwo **konwertować między niutonami a kilogramami**.

Pomimo że niutony i kilogramy odnoszą się do różnych wielkości fizycznych, ich konwersja jest często potrzebna w obliczeniach dotyczących ruchu, mechaniki i wielu innych zastosowań.

Aby dokładnie obliczyć, 100 N ile to kg, możemy posłużyć się następującym wzorem:

$$\text{masa (kg)} = \text{siła (N)} / \text{przyspieszenie grawitacyjne (m/s}^2\text{)}$$

Gdzie przyspieszenie grawitacyjne na Ziemi przyjmuje wartość około $9,81 \text{ m/s}^2$. Podstawiając 100 N do tego wzoru, otrzymujemy:

$$\text{masa (kg)} = 100 \text{ (N)} / 9,81 \text{ (m/s}^2\text{)} = 10,19 \text{ kg (zaokrąglone do 10,2 kg)}.$$



Wyznaczanie środka ciężkości segmentów ciała

Masa i ciężar to dwa pojęcia, które często mylimy ze sobą, jednak stanowią one fundamentalne elementy związane z fizyką. Masa i ciężar to podstawowe jednostki, które pozwalają nam opisać i zrozumieć zachowanie ciał w różnych warunkach. W codziennym życiu używamy tych pojęć w kontekście naszej wagi lub ładunku, ale dla naukowców i inżynierów masa i ciężar odgrywają kluczową rolę w projektowaniu i badaniach.

Masa to jedno z podstawowych pojęć fizycznych, które definiuje ilość materii zawartej w ciele. Innymi słowy, masa jest miarą trudności, z jaką ciało porusza się lub jest zatrzymywane przez siły zewnętrzne.

- Masa jest właściwością materialną ciała, co oznacza, że pozostaje ona taka sama, niezależnie od położenia lub otoczenia danego przedmiotu.
- Masa jest skalarem, co oznacza, że posiada tylko wartość numeryczną i jednostkę, ale nie posiada kierunku.
- Masa jest mierzona w jednostkach zwanych kilogramami (kg).
- Masa wpływa na wiele innych właściwości ciała, takich jak siła tarcia, energia kinetyczna i pęd, co sprawia, że jest to ważne pojęcie w fizyce.
- Dzięki masie, możemy obliczyć wiele parametrów dotyczących ruchu ciała, takich jak jego prędkość, przyspieszenie i pęd, co pozwala nam dokładnie opisać jego zachowanie.



Wyznaczanie środka ciężkości segmentów ciała

Ciężar to siła, z jaką ciało oddziałuje na powierzchnię, na której spoczywa, lub na inne ciała, z którymi jest w kontakcie. Innymi słowy, ciężar to siła, z jaką Ziemia przyciąga ciało ziemskie. Ciężar jest zależny od masy ciała oraz siły grawitacji, która działa na to ciało. Na Ziemi siła grawitacji wynosi około $9,81 \text{ m/s}^2$, co oznacza, że ciężar ciała o masie 1 kg wynosi około $9,81 \text{ N}$ (newtonów). Ciężar jest wektorową wielkością fizyczną, co oznacza, że posiada zarówno wartość numeryczną, jak i kierunek. Kierunek ciężaru zawsze wskazuje w dół, w kierunku centrum Ziemi.

Masa i ciężar są dwoma różnymi wielkościami fizycznymi, ale mają wiele podobieństw: obydwie są związane z grawitacją; są wielkościami fizycznymi; mają wpływ na ruch i dynamikę ciał; zależą od masy ciała i mają jednostki miary w układzie SI.

Masa i ciężar są ze sobą powiązane, ale nie są tożsame.

Masa jest ilością materii w ciele, podczas gdy ciężar to siła, z jaką ciało oddziałuje na powierzchnię lub na inne ciała. Innymi słowy, masa jest stała dla danego ciała, niezależnie od otoczenia, podczas gdy ciężar zależy od siły grawitacji i może się zmieniać w zależności od otoczenia.



Wyznaczanie środka ciężkości segmentów ciała

Kluczowe różnice między masą a ciężarem:

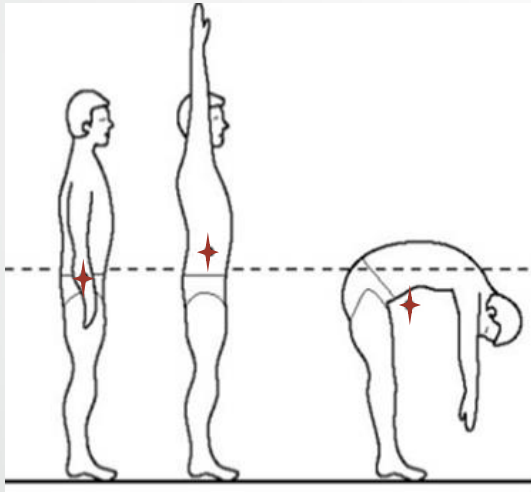
Masa	Ciężar
Masa jest skalarem i nie ma kierunku.	Ciężar jest wektorem i działa w tym samym kierunku co siły grawitacji.
Masa jest stała dla danego ciała i nie zmienia się w zależności od lokalizacji.	Ciężar ciała zależy od siły grawitacji i może się zmieniać, w zależności od lokalizacji na Ziemi.
Masa jest mierzona w kilogramach (kg).	Jednostką ciężaru jest newton (N).
Masa jest miarą inercji, tzn. określa, jak trudno jest zmienić ruch ciała.	Ciężar jest miarą siły, tzn. określa wartość i kierunek siły oddziałującej na ciało.

Masa i ciężar są dwoma zupełnie różnymi wielkościami, które mają kluczowe znaczenie w fizyce. Zrozumienie różnic między masą a ciężarem jest kluczowe dla poprawnego wykorzystania tych pojęć w praktyce.

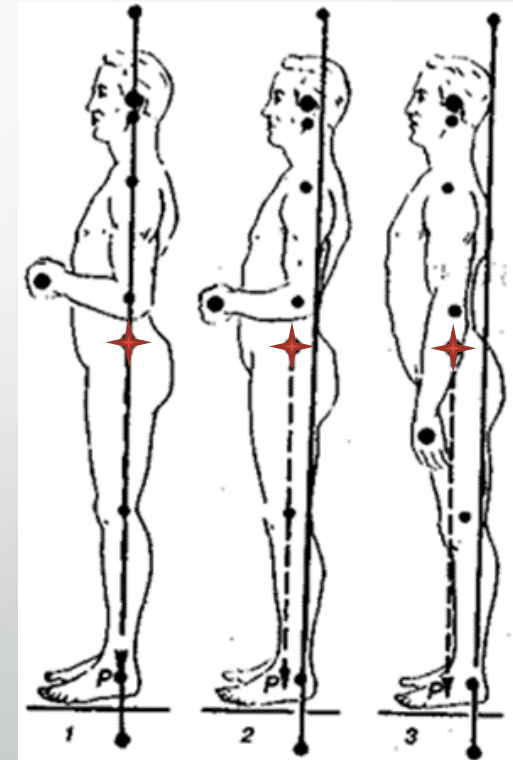


Ogólny środek ciężkości ciała człowieka - OSC

- Od miejsca położenia ogólnego środka ciężkości (OSC) zależy stabilność ciała, czyli zdolność do zachowania równowagi statycznej. Stabilność ciała człowieka jest tym większa, im niżej jest położony ogólny środek ciężkości (OSC).



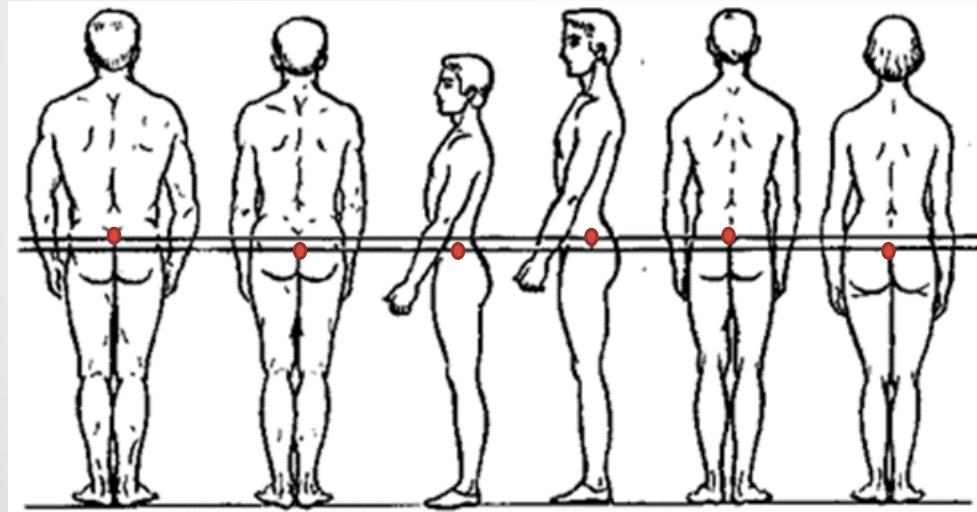
- Położenie OSC pozostaje bez zmiany tak długo, dopóki ciało człowieka nie zmieni dotychczasowego kształtu i zależy od:
 - a) indywidualnej budowy anatomicznej
 - b) nabytej postawy
 - c) aktualnej pozycji
 - d) istnienia zewnętrznych podpór.





Ogólny środek ciężkości ciała człowieka - OSC

Po przeprowadzeniu szeregu pomiarów w populacjach, przyjęto, że OSC człowieka stojącego w pozycji wyprostowanej znajduje się u młodych kobiet na ok. 55,5% wysokości ciała, a u młodych mężczyzn na ok. 56,5% wysokości ciała.

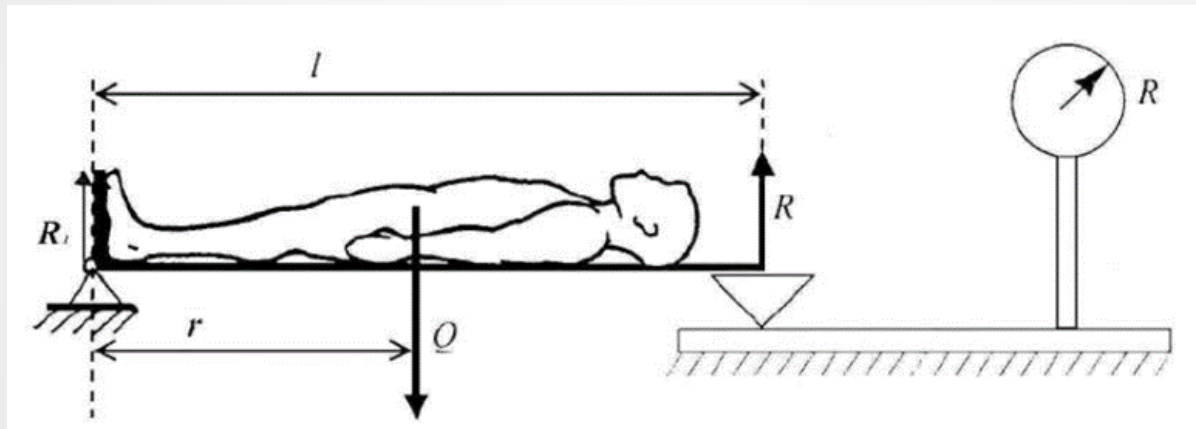


Położenie to zmienia się wraz z budową ciała, postawą, wiekiem i płcią. Niemowlęta mają najwyżej położony ogólny środek ciężkości, dzieci niżej, natomiast najniżej znajduje się on u osobników dorosłych (w % wysokości licząc od podłoża). Związane jest to z różnym rozłożeniem mas w ciele człowieka, np. mężczyźni mają bardziej rozwiniętą i umięśnioną obręcz barkową, u kobiet występuje bardziej rozwinięty pas biodrowy. U małego dziecka OSC jest położone wyżej niż u dorosłego osobnika z powodu nieproporcjonalnie dużej masy głowy i mniejszej masy nóg.



Wyznaczanie OSC metodą bezpośrednią

Dźwignia jednostronna jest sztywną belką podpartą w jednym punkcie, względem którego może ona wykonywać ruch obrotowy. Jeżeli momenty sił i siły działające równoważą się, to dźwignia jest w równowadze. Ta własność dźwigni jest wykorzystana do wyznaczenia położenia środków ciężkości ciał na niej położonych.



gdzie:

r – ramię siły Q (położenie OSC)

l – długość dźwigni

Q – ciężar ułożonego ciała

R – siła reakcji (wskazanie wagi)

Ponieważ momenty sił ciężkości Q i reakcji R równoważą się, a moment siły R_1 jest równy 0 (ramię działania siły jest równe 0), wobec tego:

$$MQ - MR = 0$$

$$MQ = MR$$

$$Q \cdot r = R \cdot l$$

$$r = \frac{R \cdot l}{Q}$$

i stąd otrzymujemy zależność:

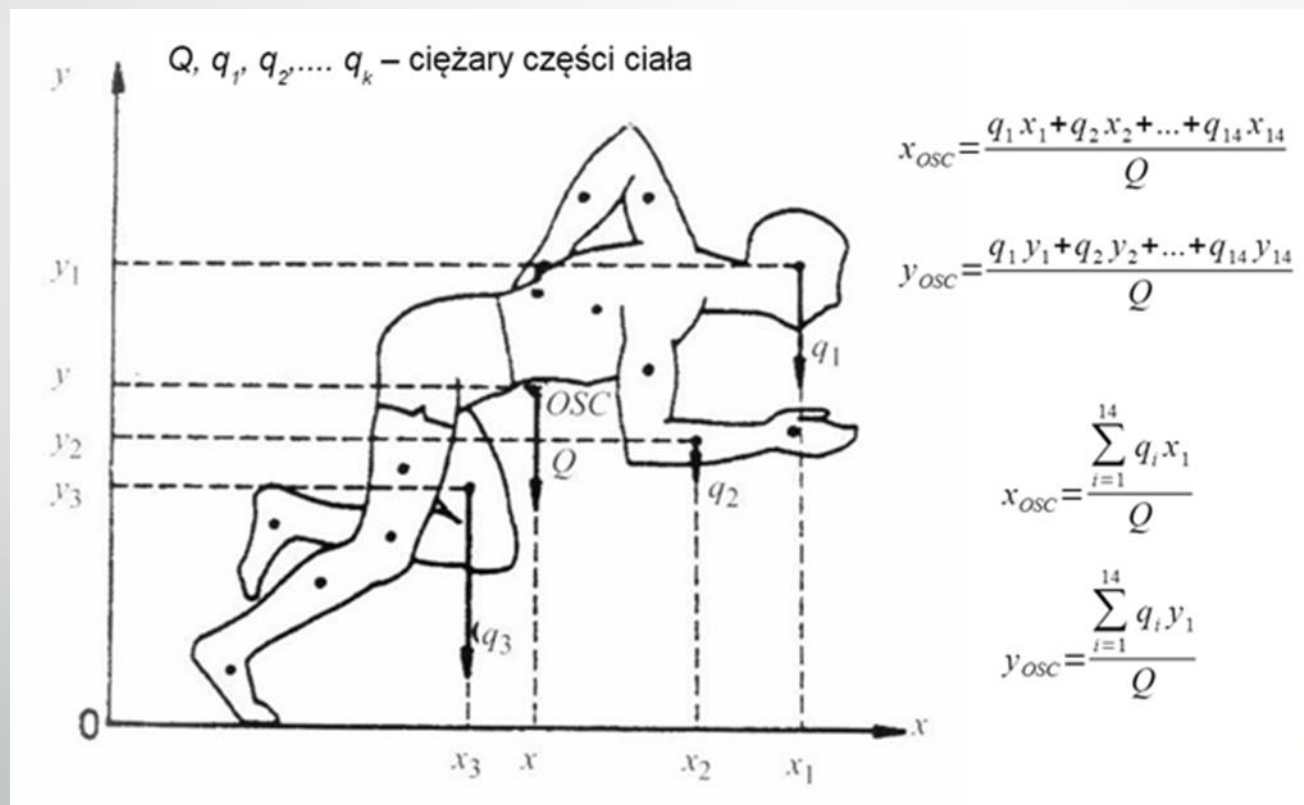
Wyznaczona w ten sposób współrzędna r , która jest mierzona od osi obrotu dźwigni, jest jednocześnie odległością środka ciężkości ciała, mierzoną wzdłuż długiej osi ciała od powierzchni stóp.



Wyznaczanie OSC metodą pośrednią

Metoda sumowania momentów sił opiera się na zasadzie mówiącej, że suma momentów sił względem danego układu równa jest momentowi sumy sił względem tego układu.

Na poniższym rysunku przedstawiono **pośrednią metodę wyznaczania** ogólnego środka ciężkości ciała człowieka, jako czternastoelementowego układu ciał i podano wzory, z których można obliczyć współrzędne OSC:



Dziękuję za uwagę i zapraszam na kolejny wykład

