



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).

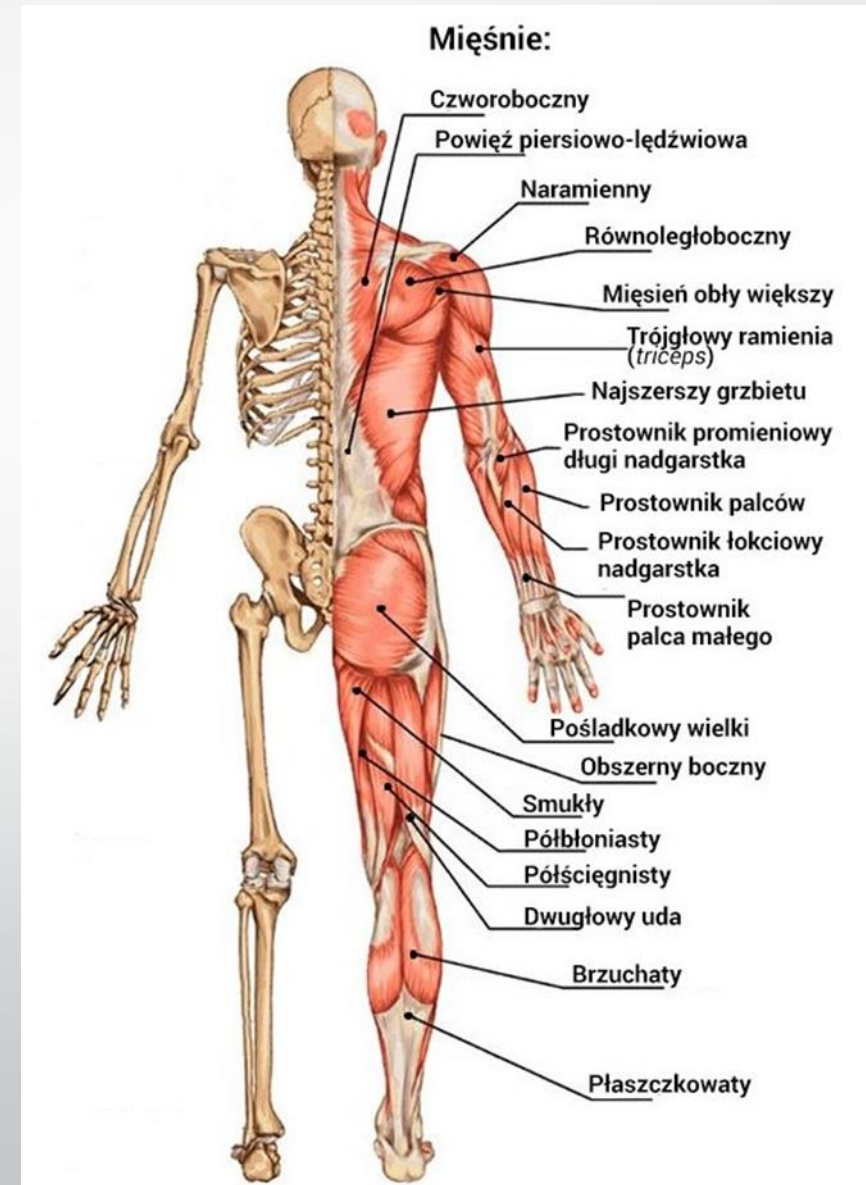
Tworzą go:

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

Powtórka: [Budowa i funkcje szkieletu. Szybko i sprawnie o szkielecie człowieka. 4 LEKCJE w 8 MINUT 😊 \(youtube.com\)](#)

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

Powtórka: [Układ mięśniowy podział, budowa, antagonistyczne działanie i jeszcze parę innych niespodzianek \(youtube.com\)](#)





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 głową itd.);
 - utrzymywać pionową postawę ciała;
 - osłabiać skutki działania różnego rodzaju przeciążeń, na przykład w trakcie wykonywania gwałtownych ruchów.
-
- Dla zainteresowanych powtórka z budowy i funkcjonowania układu ruchu człowieka:
 - <https://www.bing.com/videos/riverview/relatedvideo?q=praca+mi%c4%99%c5%9bni+szkieletowych&mid=1A343FFA899B0966E61F1A343FFA899B0966E61F&FORM=VIRE>



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 - biomechanizmu

UKŁAD RUCHU CZŁOWIEKA

kości → dźwignie

stawy → połączenia

mięśnie → siłowniki

(opisywane jako: 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

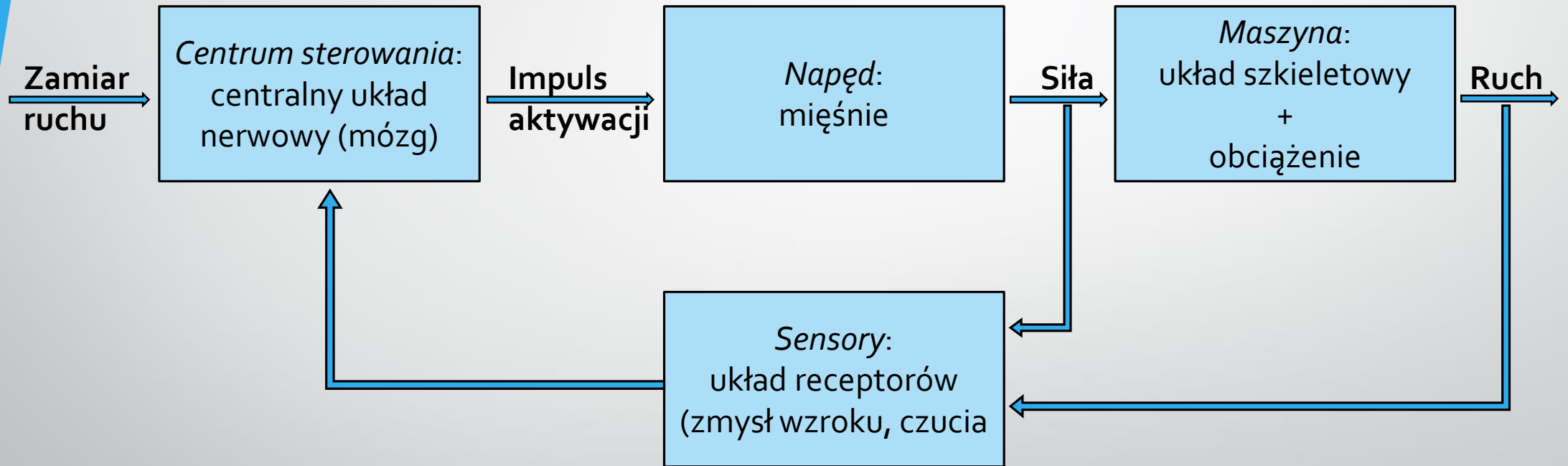


Pracy mechanicznej towarzyszy **wytworzenie energii cieplnej**, której część jest rozpraszana

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



Mechanizm kontroli ruchu





Przeptyw informacji w organizmie człowieka

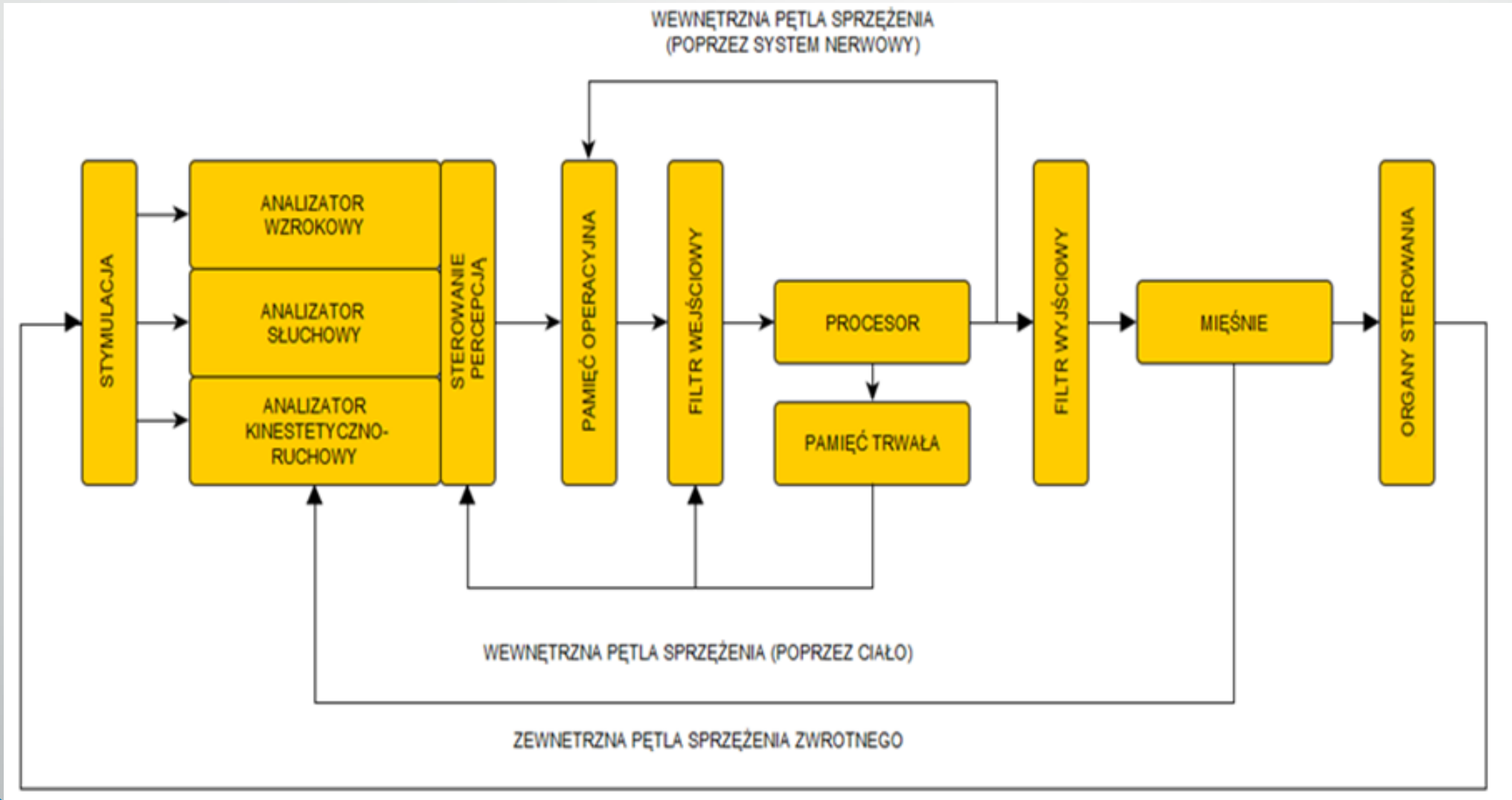
Bodźce są przekazywane do mózgu człowieka poprzez **receptory** oddziaływujące na jego zmysły.

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.



Przeptyw informacji w organizmie człowieka

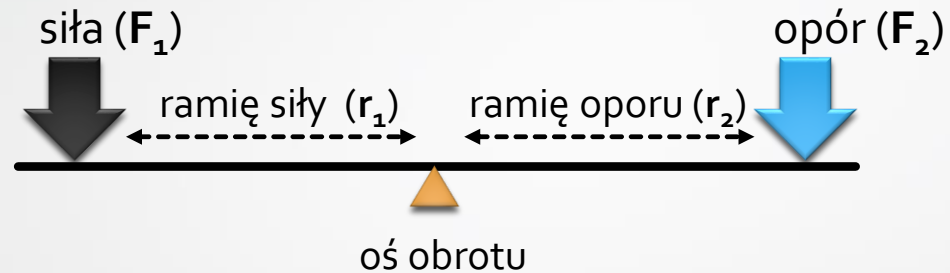


Model przepływu informacji wg Reason'a

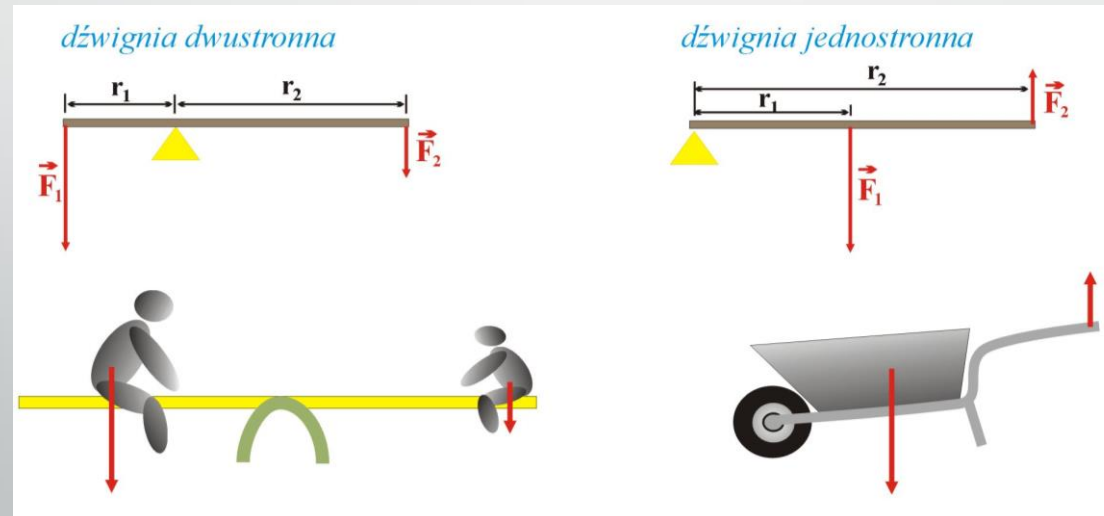


Zasada działania dźwigni

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

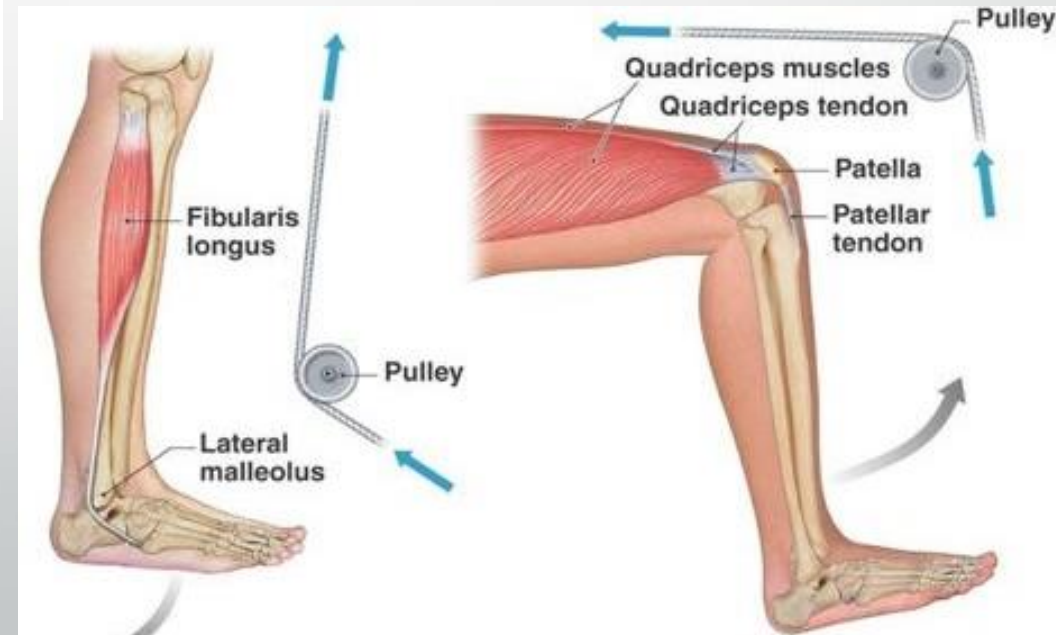
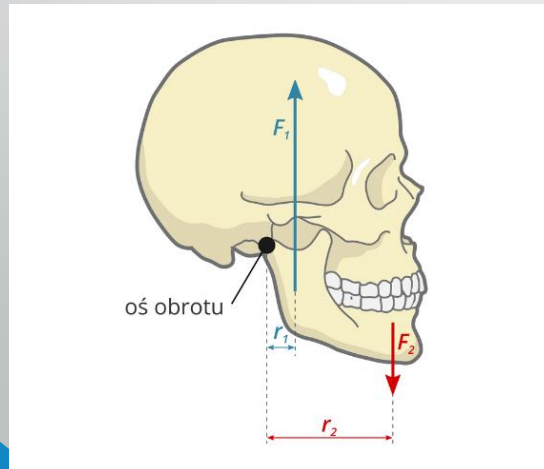
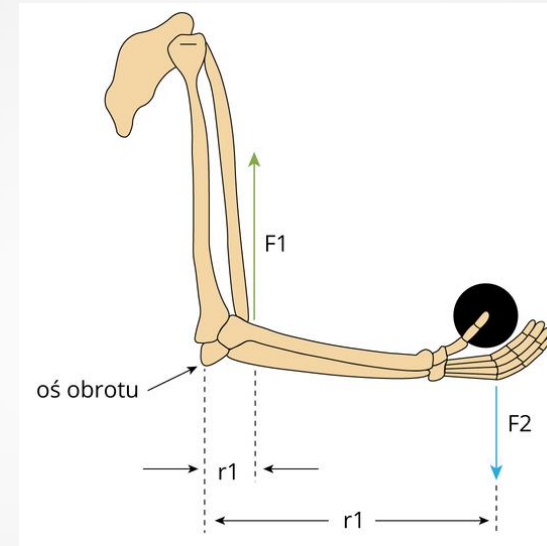
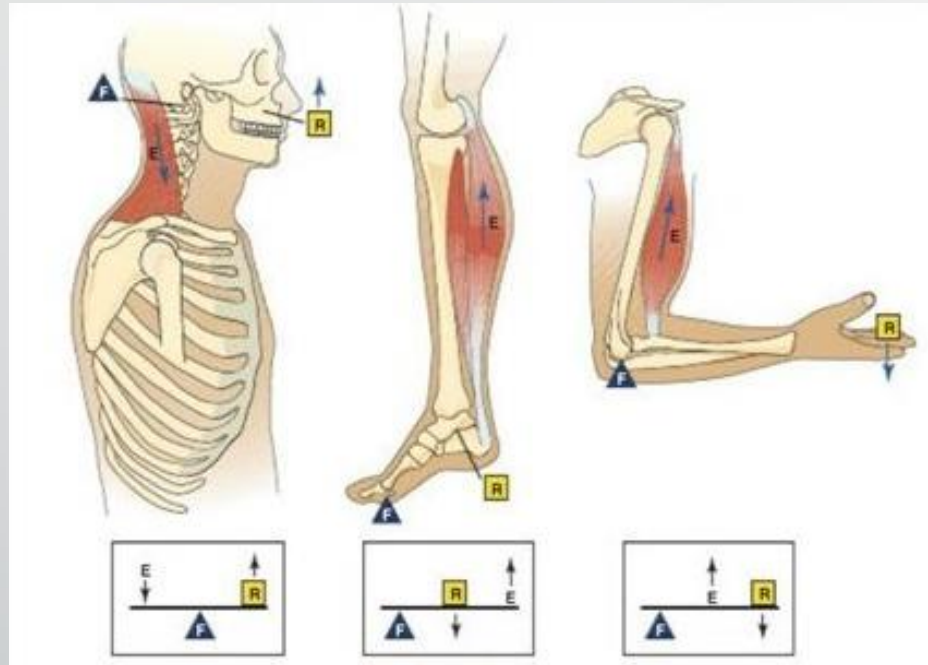


Aby dźwignia pozostała w równowadze spełniony musi być warunek: $F_1 \times r_1 = F_2 \times r_2$





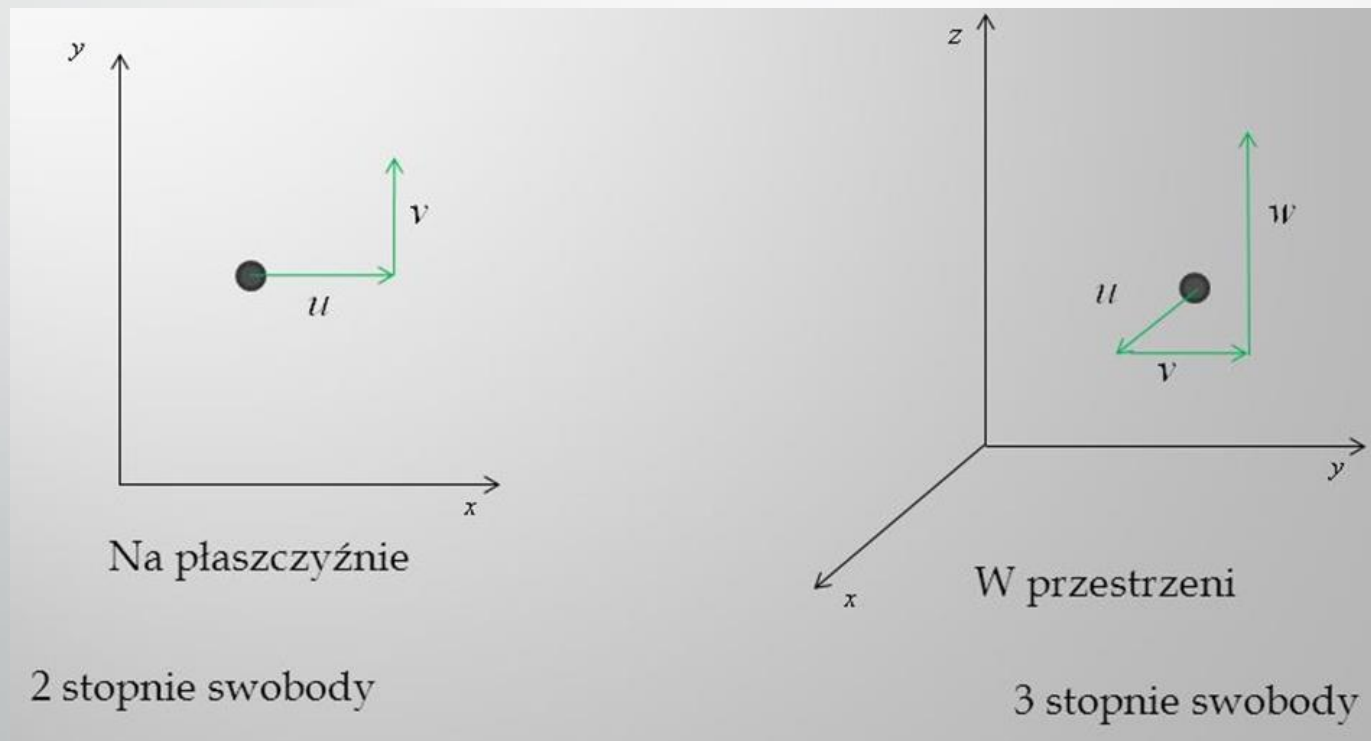
Maszyny proste w ciele człowieka





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:

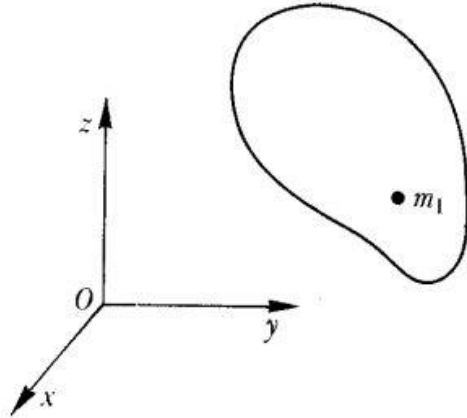




Położenie w przestrzeni bryły sztywnej

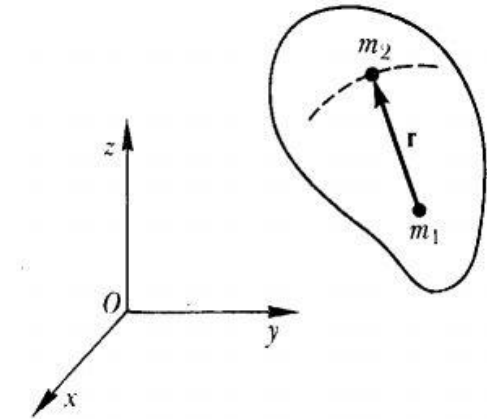
- W oparciu o pojęcie środka masy możemy opisać ruch układu (np. bryły sztywnej) jako całości stosując równania ruchu punktu materialnego.
- Opis przestrzennego położenia bryły sztywnej wymaga określenia położenia 3 punktów: np. środka masy i dwóch dodatkowych punktów.
- Bryłę sztywną o sześciu st. sw.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

położenie wybranego punktu
np. środka masy



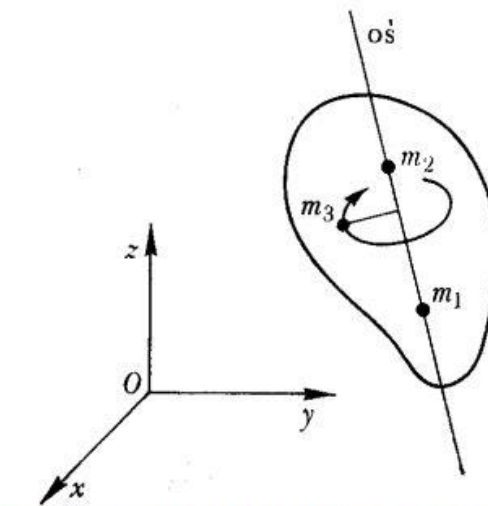
3 parametry
(stopnie swobody)

położenie drugiego punktu



2 parametry
(położenie na sferze)

położenie trzeciego punktu



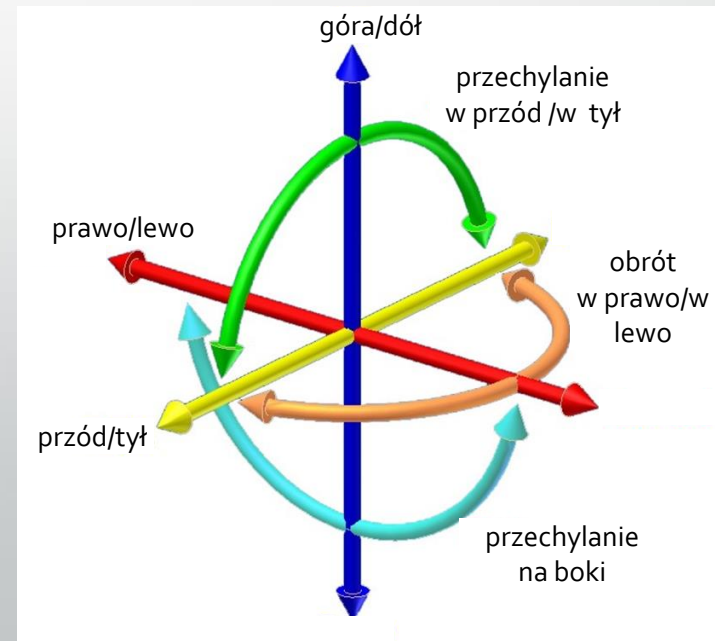
1 parametr (położenie na okręgu)

⇒ łącznie mamy 6 stopni swobody



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.





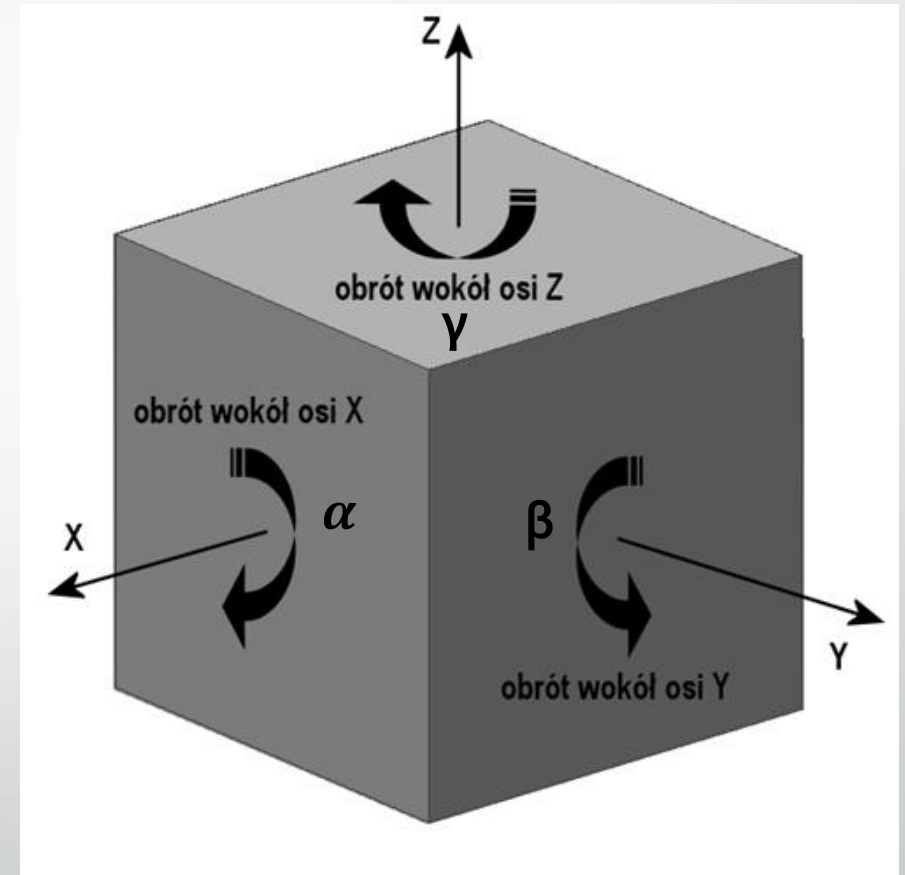
Para kinematyczna

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



Klasa pary kinematycznej

- Klasa pary kinematycznej to 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 zależności od tego jakie rodzaju ruchu są przez parę ograniczone.



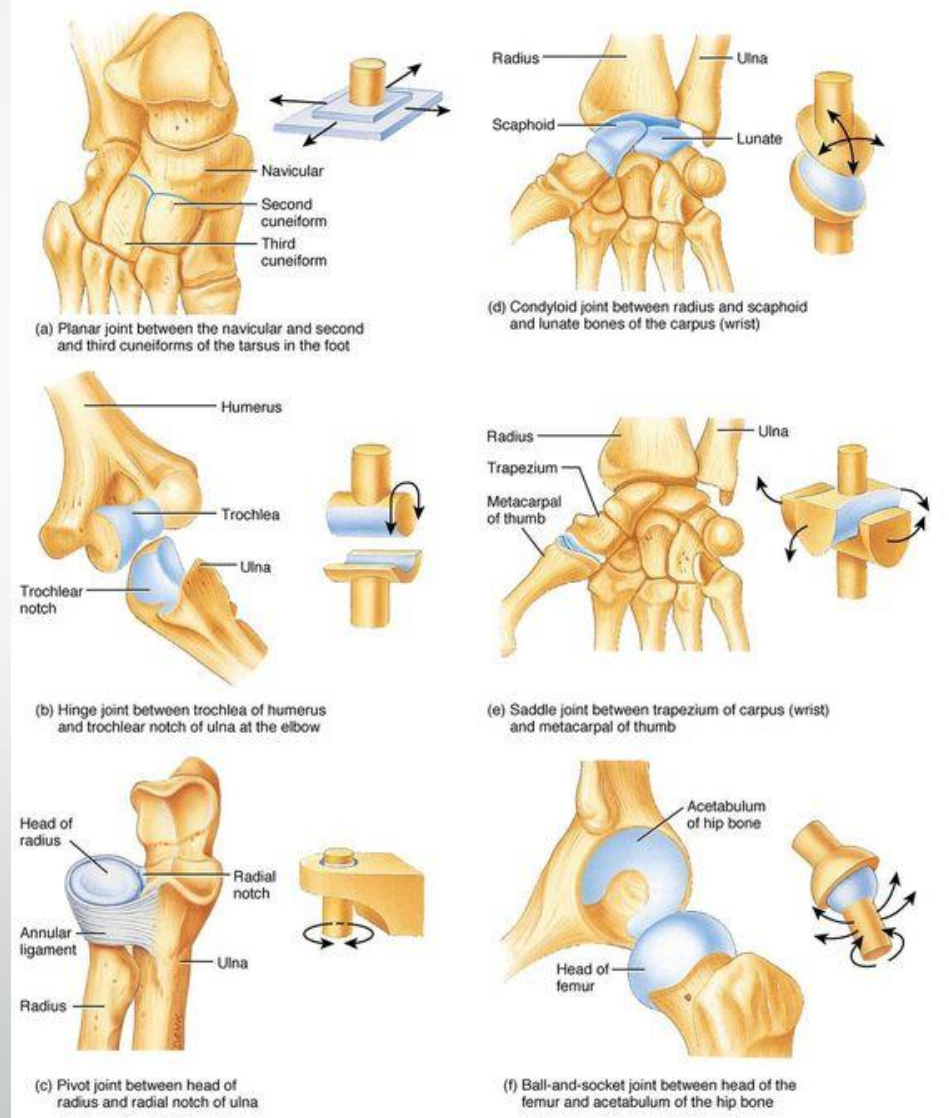


Klasa pary kinematycznej

- 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 6: 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

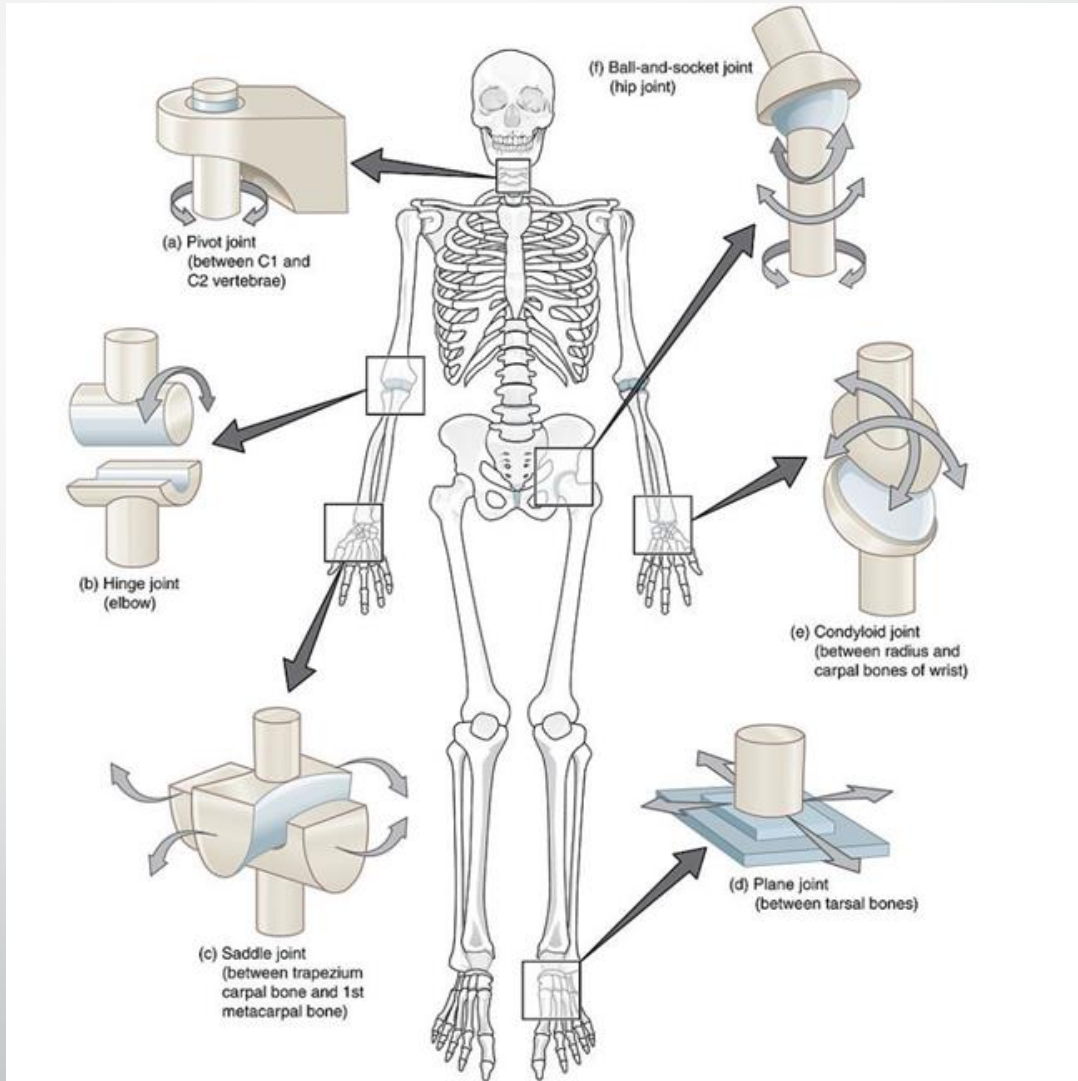


Źródło: Felis J., Jaworowski H., Cieślak J., 2008. Teoria maszyn i mechanizmów. Część I. Analiza Mechanizmów. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków



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.





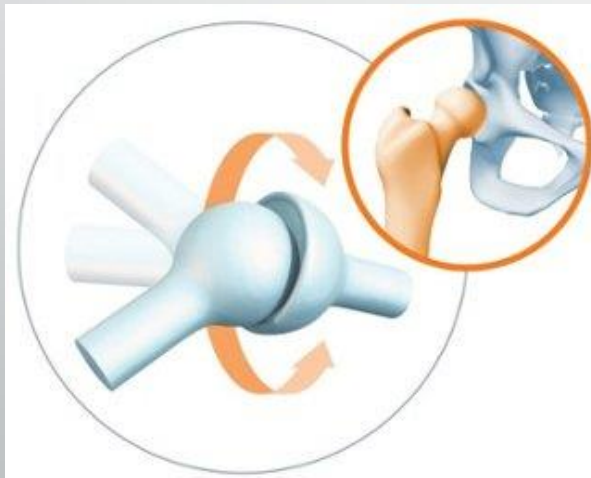
Klasyfikacja par kinematycznych układu ruchu

- Pary kinematyczne klasy III (stawy wieloosiowe):

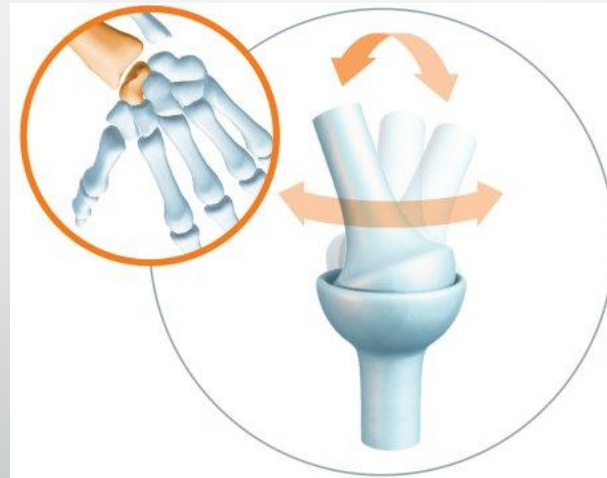
staw kulisty (np. staw biodrowy),

staw eliptyczny (np. staw promieniowo-nadgarstkowy),

staw płaski (np. połączenia stawowe kości nadgarstka).



staw kulisty



staw eliptyczny

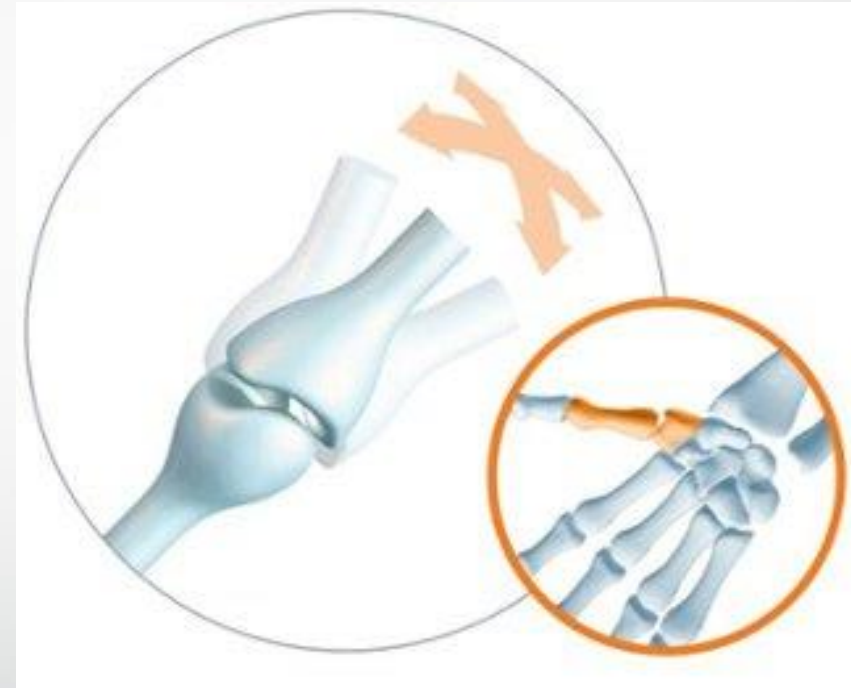


staw płaski



Klasyfikacja par kinematycznych układu ruchu

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

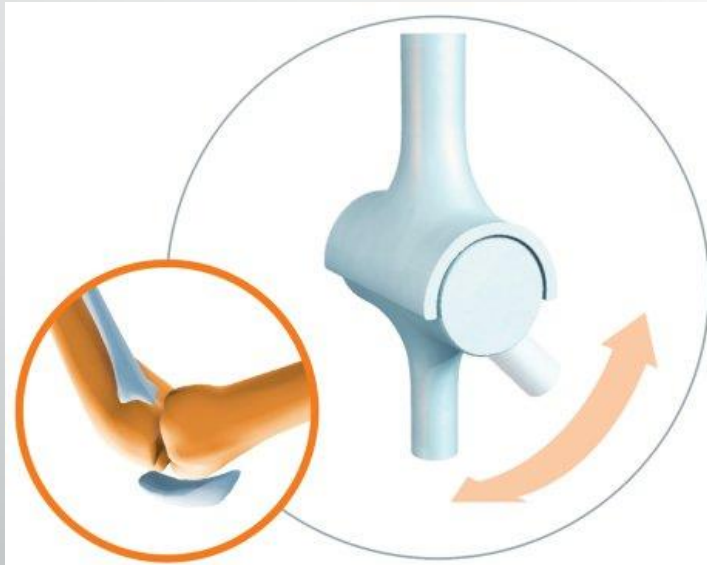


staw siodełkowy



Klasyfikacja par kinematycznych układu ruchu

- 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**)



staw zawiasowy



staw śrubowy



Klasyfikacja par kinematycznych układu ruchu

Klasa pary	Liczba więzi	Liczba stopni swobody	Przykłady	Symbol
VI	6	0	Połączenie ściśle: więzozrosty, chrząstkozrosty, kośćozrosty, szwy, wklिनowanie	
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,

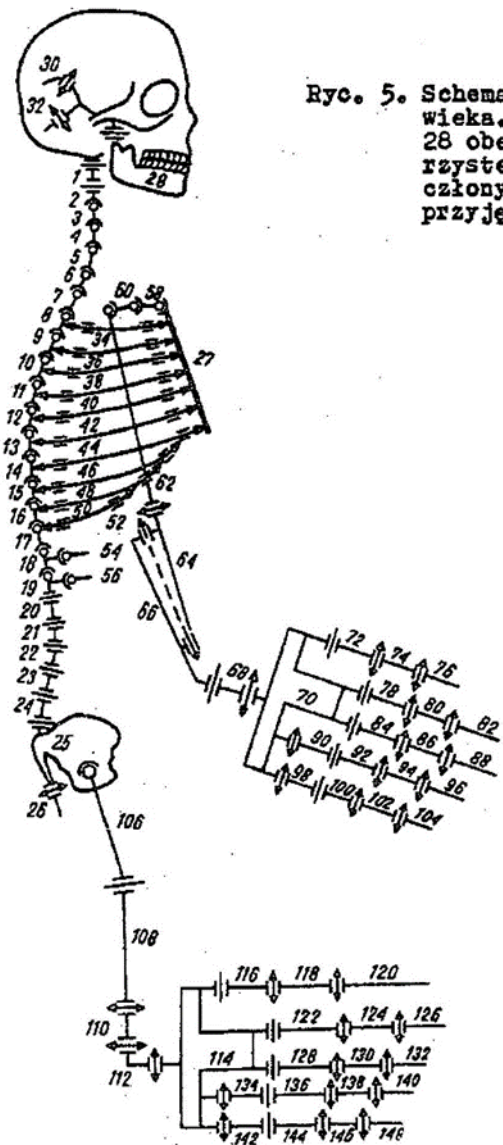
$\sum_{i=1}^5 i \times p_i$ - całkowita liczba odebranych stopni swobody przez wszystkie pary kinematyczne,

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

p_i - liczba par kinematycznych i -tej klasy.

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

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.

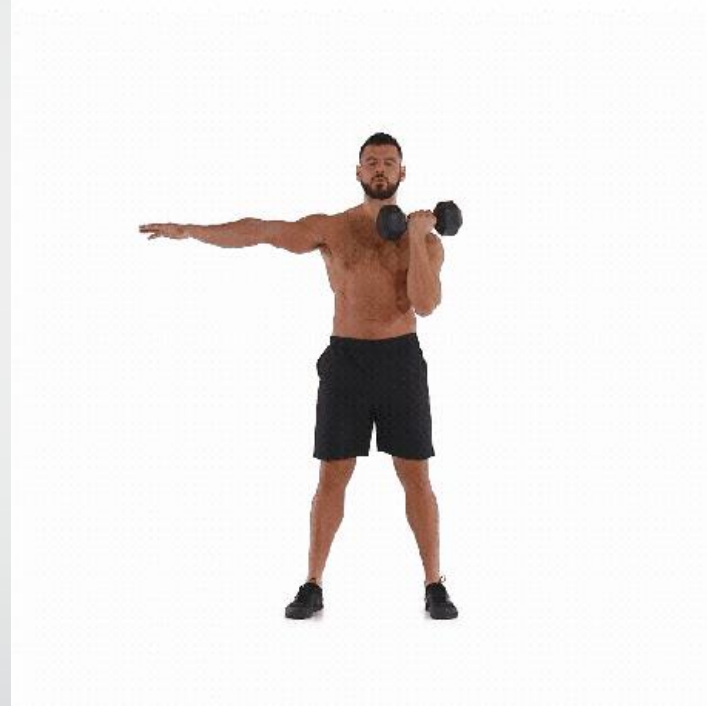
Zawiera:

- 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.

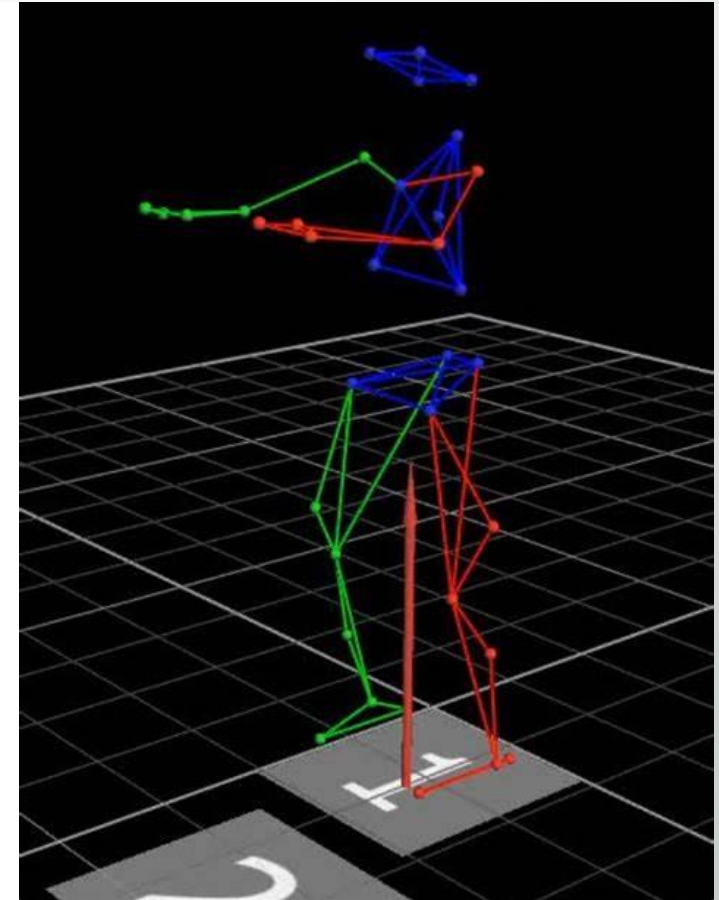
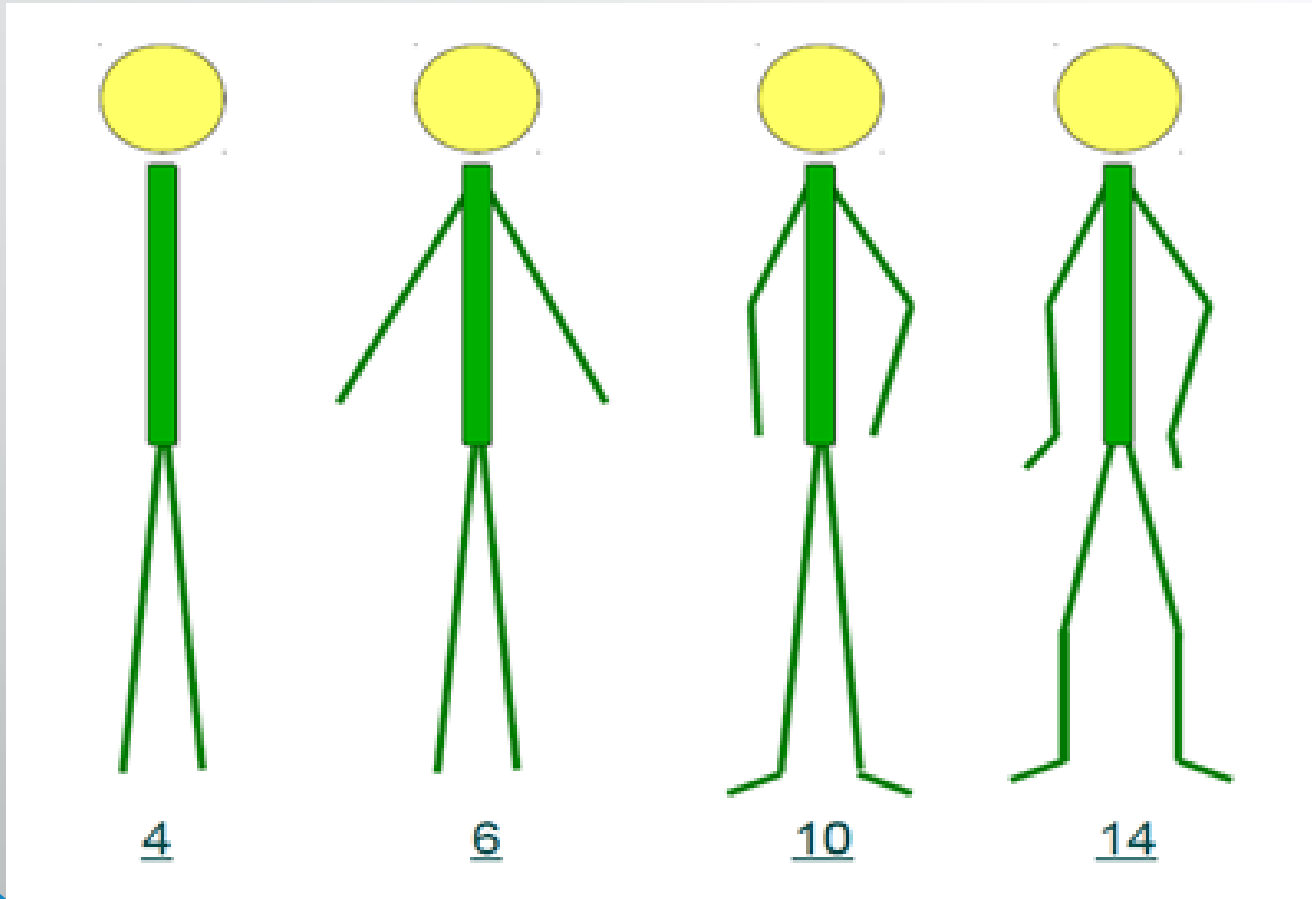


Przykłady wykorzystania łańcuchów biokinematycznych





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

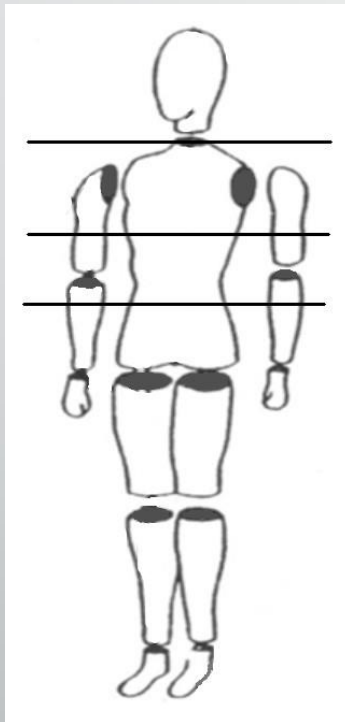
Źródło: Bober T., Zawadzki J., Biomechanika układu ruchu człowieka. Wydawnictwo BK, Wrocław, 2003.



Wyznaczanie mas segmentów ciała

Metoda wykorzystująca równania regresji – względne masy części ciała człowieka w % ciężaru całkowitego wyznaczone 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

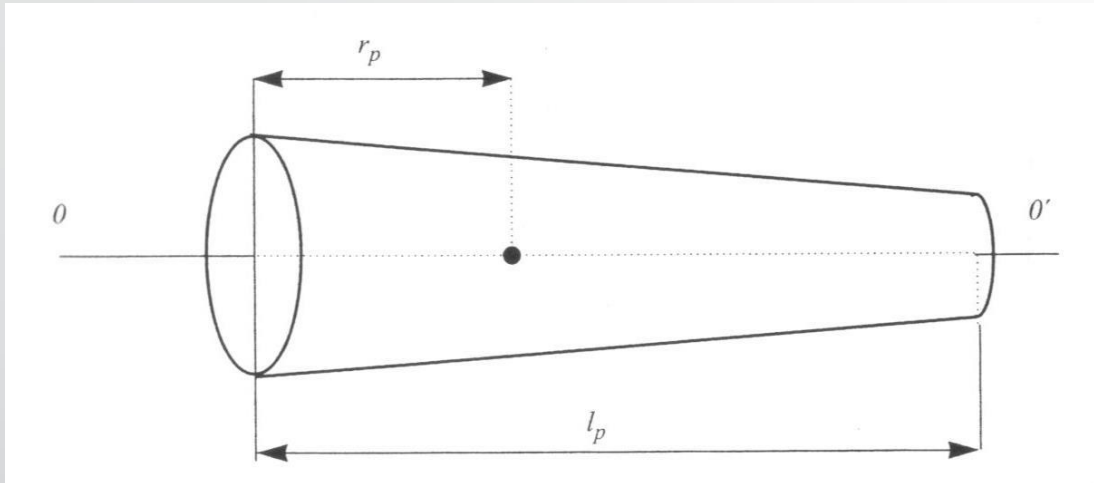
- **Środek masy** - jest to punkt, którym można zastąpić ciało lub rozpatrywany układ ciał punktem materialnym, jeżeli układ określony jest w jednorodnym polu grawitacyjnym. Środek masy ciała to punkt, który porusza się tak jak gdyby skupiona w nim była cała masa ciała a wszystkie siły zewnętrzne przyłożone 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

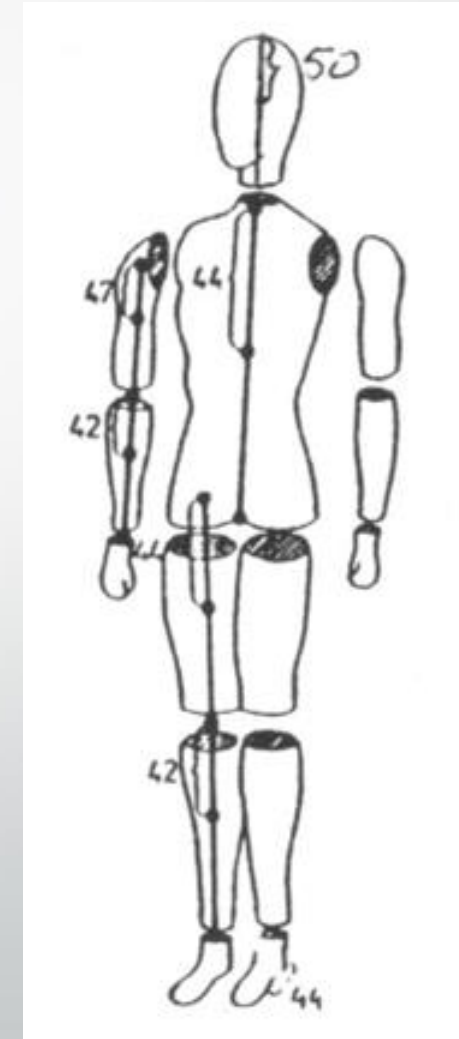
Wyznaczanie środka ciężkości przedramienia na podstawie danych Zatziorsky'ego z tabeli na slajdzie 32:



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

$O - O'$ 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	Vertex - SC
Tułów	44,0	38,0	44,5	Suprasternale - SC
Ramię	47,0	51,3	45,0	Oś stawu - SC
Przedramię	42,1	39,0	42,7	Oś stawu - SC
Ręka	okolica głowy trzeciej kości śródręcza	48,0	37,0	Oś stawu - SC
Udo	44,0	37,2	45,5	Oś stawu - SC
Podudzie	42,0	37,1	40,5	Oś stawu - SC
Stopa	44,45	44,9	44,1	Pternion - SC
OSC	-	41,2	-	Vertex - SC

Wyznaczanie środka ciężkości segmentów ciała

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

Gdzie: Q – ciężar ciała w kG; W – wysokość ciała w cm

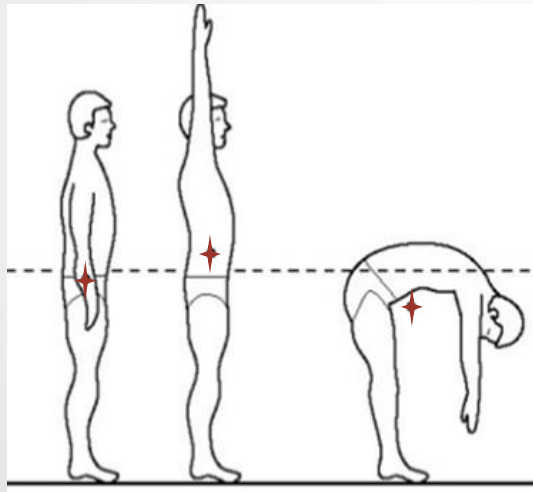
kG - jednostka siły w ciężarowym układzie jednostek. 1 kG = 9,81 N

Jest to siła, z jaką Ziemia przyciąga masę 1 kg w miejscu, w którym przyspieszenie ziemskie wynosi 9,80665 m/s².

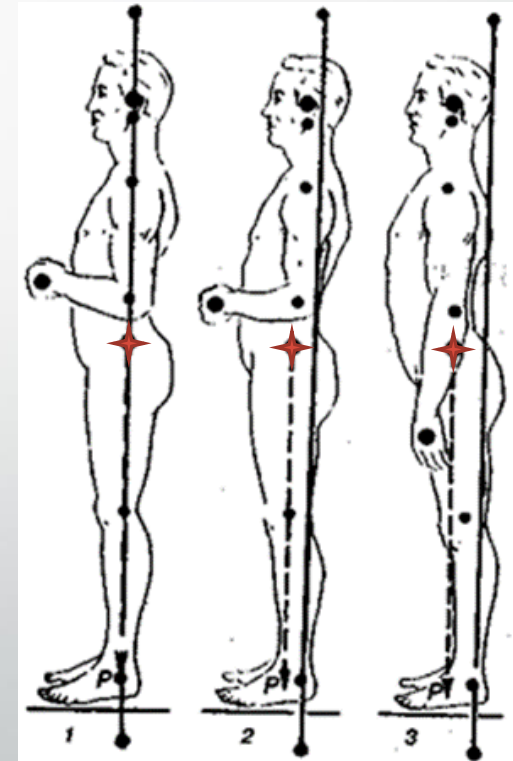
Części ciała	Równanie regresji	Odległość
Głowa	$8,357 - 0,0025 Q + 0,0230 W$	<i>Vertex - SC</i>
Górna część tułowia	$3,320 + 0,0076 Q + 0,0470 W$	<i>Suprasternale - SC</i>
Środkowa część tułowia	$1,398 + 0,0058 Q + 0,0450 W$	<i>Xyphoidale - SC</i>
Dolna część tułowia	$1,182 + 0,0018 Q + 0,0434 W$	<i>Umbilicus - 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>Stylion - 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>

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).

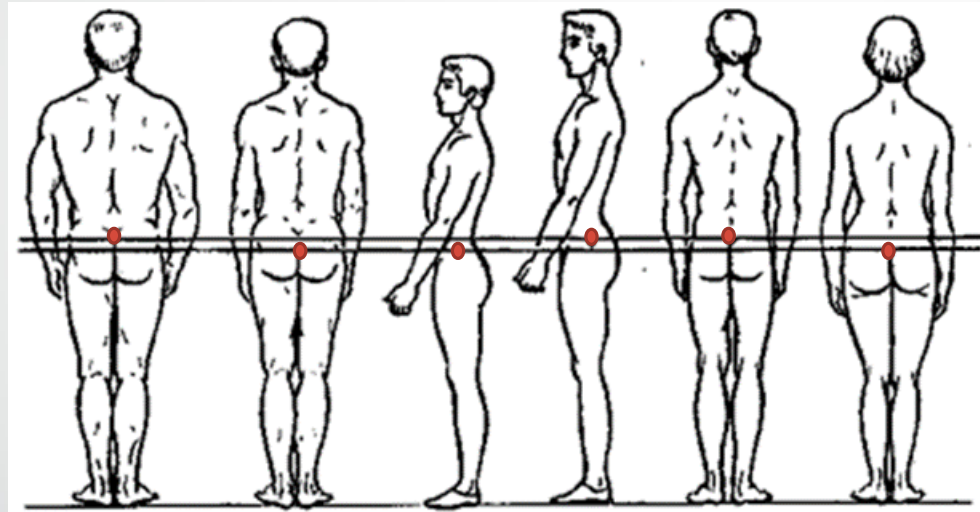


- Położenie OSC pozostaje bez zmiany tak długo, dopóki ciało człowieka nie zmieni dotychczasowego kształtu i zależy od:
 - a) indywidualnej budowy anatomicznej
 - b) nabytej postawy
 - c) aktualnej pozycji
 - d) istnienia zewnętrznych podpór.



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.

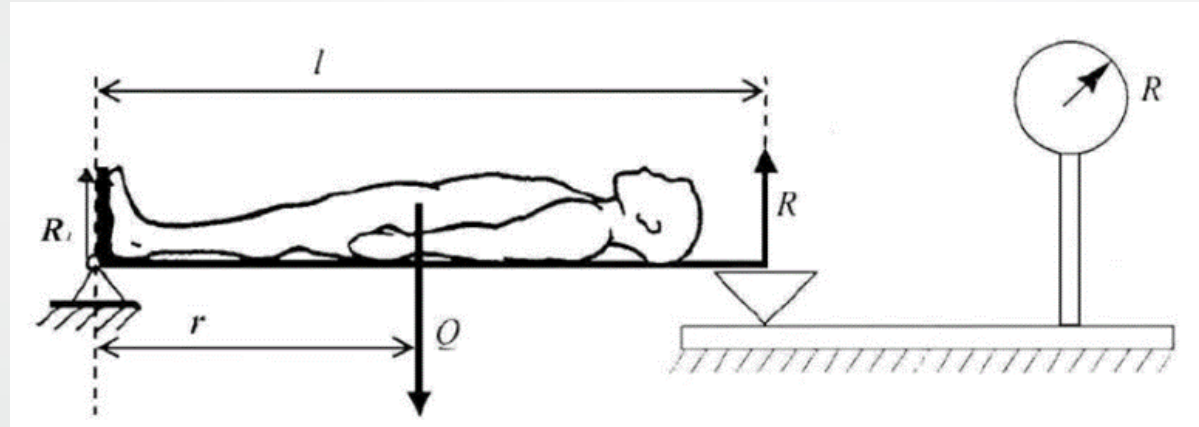


Położenie to zmienia się wraz z budową ciała, postawą, wiekiem i płcią. Niemowlęta mają najwyżej położony ogólny środek ciężkości, dzieci niżej, natomiast najniżej znajduje się on u osobników dorosłych (w % wysokości licząc od podłoża). Związane jest to z różnym rozłożeniem mas w ciele człowieka, np. 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 podparta 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:

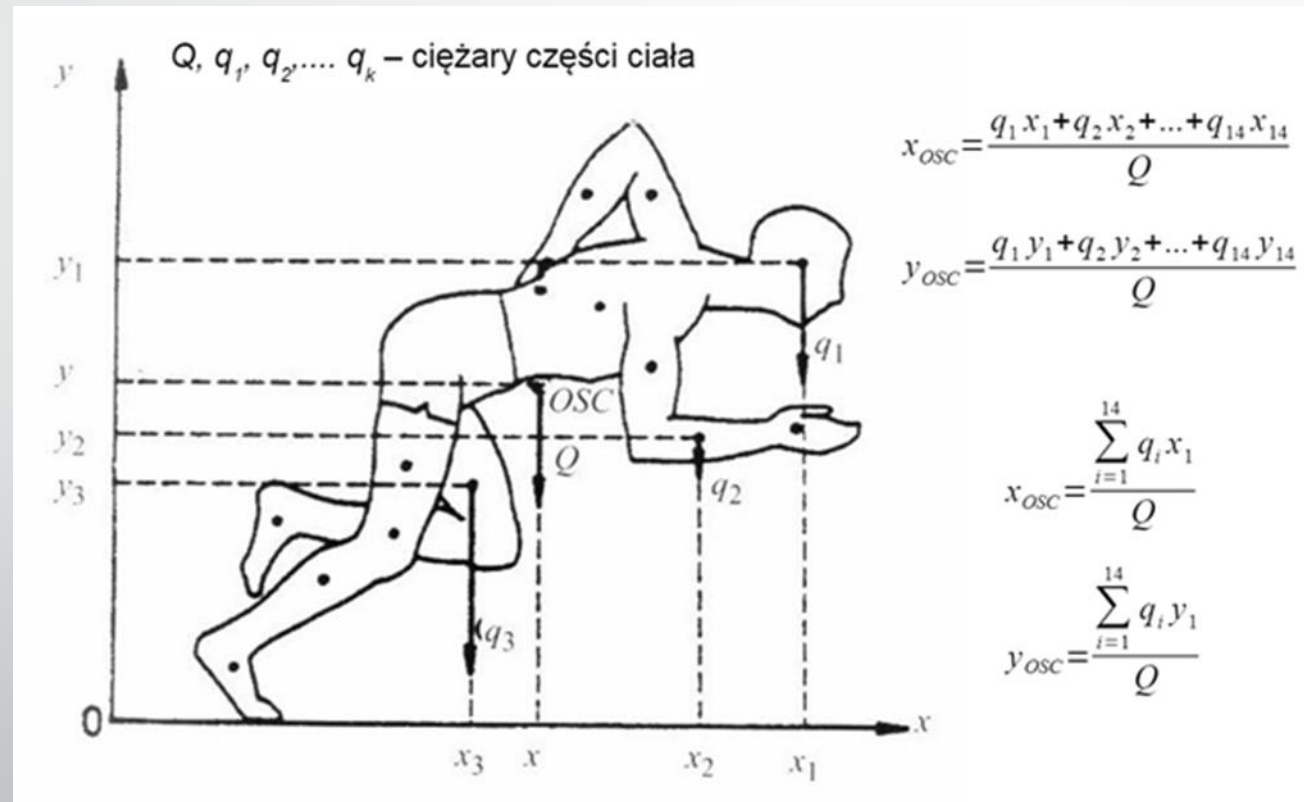
Wyznaczona w ten sposób współrzędna r , która jest mierzona od osi obrotu dźwigni, jest jednocześnie odległością środka ciężkości ciała, mierzoną wzdłuż długiej osi ciała od powierzchni stóp.



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

