

Wielkości inercyjne ciała człowieka

Inercja

- pojęcie oznaczające bezwładność, siłę oporu, jaką stawia ciało, gdy chcemy je rozpędzić, zahamować lub zmienić kierunek jego ruchu.
- o wielkości siły oporu decyduje masa ciała (zgodnie z II zasadą dynamiki Newtona)
- **im większa jest masa ciała, tym większa jego bezwładność:**
 - $F = m \cdot a$
- masa jest miarą bezwładności ciała w ruchu postępowym

I zasada dynamiki Newtona

- Istnieje taki układ, zwany układem inercyjnym, w którym ciało, na które nie działa żadna siła lub działające siły równoważą się, pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym.
- Przy próbie zmiany prędkości lub kierunku ruchu, takie ciało stawia opór - układ staje się nieinercyjny, pojawia się siła bezwładności:

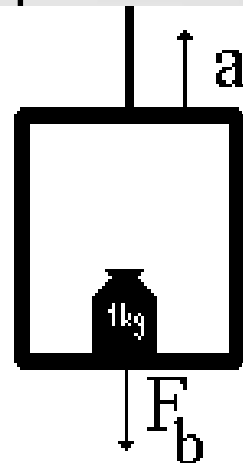
a - przyspieszenie windy;

F - siła ciągnąca windę;

m - masa ciężarka;

M - masa układu (winda + ciężarek);

F_b - siła bezwładności.



$$a = \frac{F}{M}$$

$$F_b = -m \cdot a$$

II Zasada dynamiki Newtona

- Jeżeli na ciało zadziała siła niezrównoważona, ciało będzie poruszało się ruchem zmiennym, z przyspieszeniem wprost proporcjonalnym do działającej siły, a odwrotnie proporcjonalnym do masy ciała.
 - $a = F/m$
- można stwierdzić, że warunkiem zaistnienia jakiego-kolwiek ruchu jest nierównowaga działających sił.

- Jeżeli na ciało zadziała siła niezrównoważona, ciało będzie poruszało się ruchem zmiennym, z przyspieszeniem wprost proporcjonalnym, do działającej siły, a odwrotnie proporcjonalnym do masy ciała.

$$a = \frac{F}{m}$$



podstawowe wielkości decydujące o bezwładności ciała

- masa
- masa właściwa
- środek masy ciała
- promień środka masy
- moment masy (statyczny)
- moment bezwładności
- promień bezwładności
- moment pędu (kręt)

RUCH POSTĘPOWY

Podstawowe wielkości decydujące o bezwładności ciała w ruchu postępowym:

- Masa:
 - całego ciała,
 - części ciała,
 - masa właściwa (gęstość);
- Dystrybucja mas w obrębie ciała;
- Środek masy ciała (OSM);
- Promień środka masy.

RUCH OBROTOWY

- Podstawowe wielkości decydujące o bezwładności ciała w ruchu obrotowym:
 - Moment masy (statyczny)
 - Moment bezwładności
 - Promień bezwładności
 - Moment pędu (kręt)

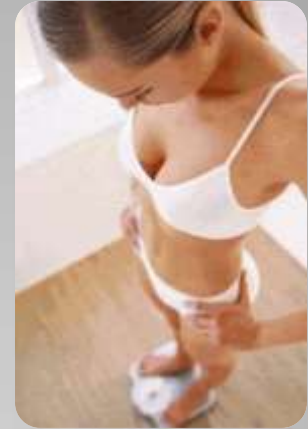
masa

- masa ciała - jest jedną z głównych wielkości inercyjnych decydujących o mechanice statycznej i dynamicznej człowieka.
- masa części ciała - jej znajomość jest konieczna w przypadku analizowania ruchu lub pozycji statycznych części ciała człowieka (np. prędkość kopnięcia w piłce nożnej, siła uderzenia w boksie, wyrzut oszczepem itp.).



masa

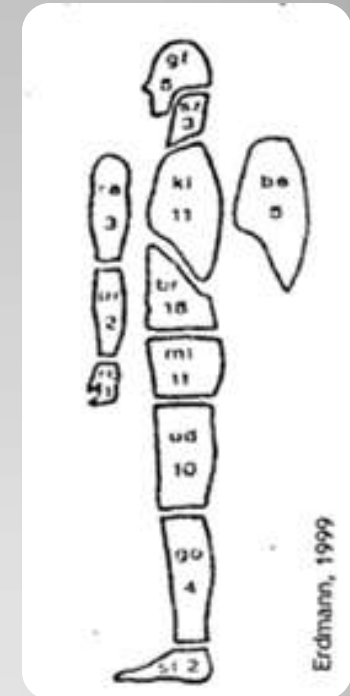
- opracowano różne sposoby wyznaczania masy części ciała:
 1. pomiar bezpośredni masy części ciała przy użyciu wagi
 2. pomiary pośrednie:
 - metoda mas względnych – współczynników mas (masa względna jest to masa części ciała jako odsetek masy całego ciała);
 - metoda równań regresji;
 - metoda zanurzeniowa (z wykorzystaniem objętości części ciała i gęstości średniej całego ciała).



masa - metoda mas względnych

- masę części ciała oblicza się stosując współczynniki mas z tabeli mas względnych

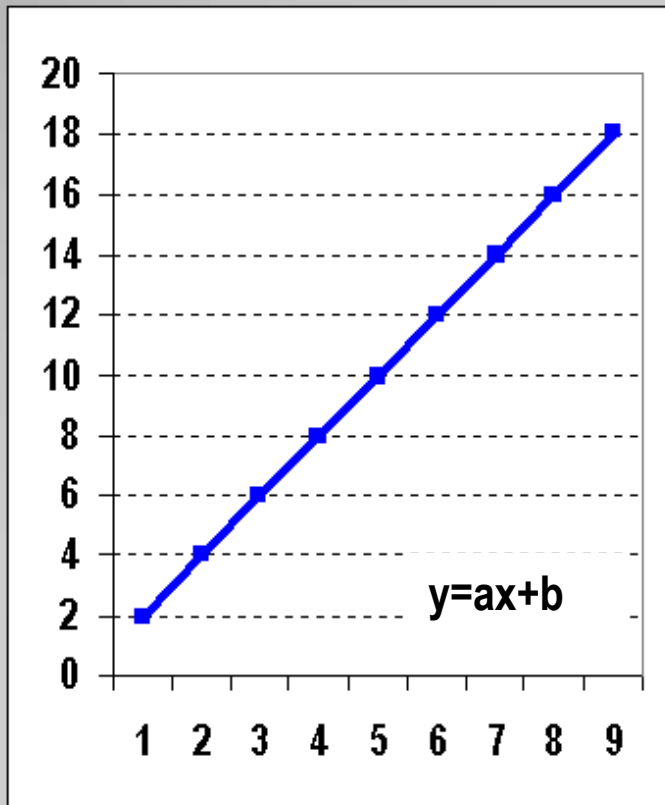
część ciała	współczynnik (% masy c.c.)	suma
głowa	5	5
szyja	3	3
klatka piersiowa	11	11
brzuch	16	16
miednica	11	11
bark	5	10
ramię	3	6
przedramię	2	4
ręka	1	2
udo	10	20
goleń	4	8
stopa	2	4
razem		100%



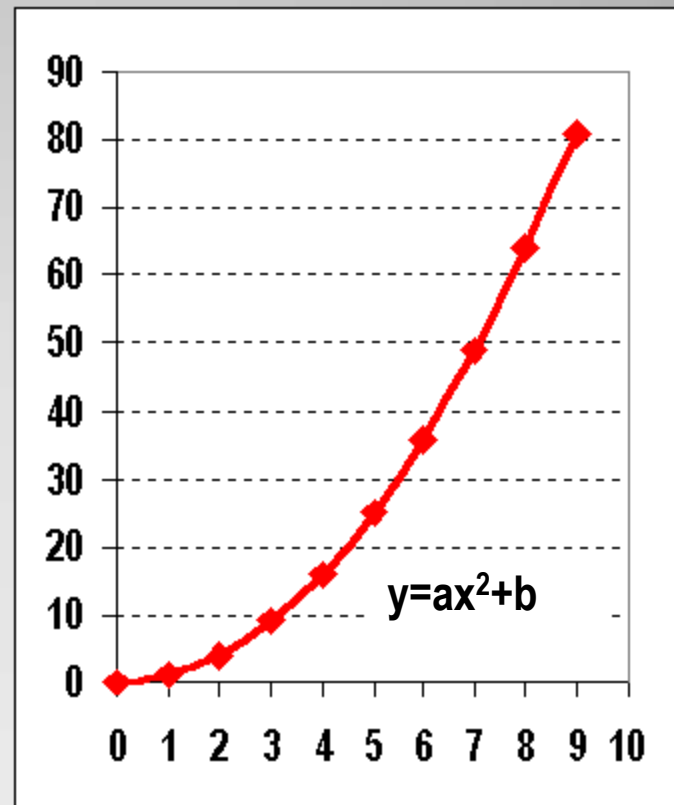
masa - metoda równań regresji

- równania regresji wykorzystują związki między cechami budowy ciała człowieka. Znając rodzaj powiązań można przewidzieć wartość jednej cechy (nieznana) na podstawie znanych wartości drugiej cechy (lub wielu cech). Stosuje się w tym celu równania matematyczne, nazywane często równaniami regresji.
- Poniżej przedstawiono przykładowe równanie regresji wg Clauser'a i wsp.
- Równanie na masę uda:
 - $m_{uda} = (\text{masa ciała} \times 0,074) + (\text{obwód uda} \times 0,123) + \{[(\text{fałd s-t grz. biod.} \times 0,78) - 0,27] \times 0,027\} - 4,216 = \dots$

METODA RÓWNAŃ REGRESJI



Regresja prostoliniowa (zależność wprost proporcjonalna)



Regresja krzywoliniowa (zależność wykładnicza)

METODA RÓWNAŃ REGRESJI

- Równania na masę części kończyny dolnej:
 - $m_{uda} = (\text{masa ciała} \times 0.074) + (\text{obwód uda} \times 0.123) + \{[(\text{fałd s-t grz. biodr.} \times 0.78) - 0.27] \times 0.027\} - 4.216 = \dots\dots$
 - $m_{go} = (\text{obwód goleni} \times 0.111) + [(B \div ti) \times 0.047] + (\text{obwód kostek} \times 0.074) - 4.208 = \dots\dots$
 - $m_{st} = (\text{masa ciała} \times 0.003) + (\text{obwód kostek} \times 0.048) + [(ap \div pte) \times 0.027] - 0.869 = \dots\dots$

POJĘCIE CIĘŻARU WŁAŚCIWEGO

Ciężar właściwy jest to stosunek ciężaru ciała jednorodnego P do jego objętości V .

$$P/V$$

Dla ciała niejednorodnego jak u człowieka oznacza się średni ciężar właściwy. Jednostkami ciężaru właściwego są G/cm^3 lub

$$kG/cm^3$$

Obliczanie ciężaru właściwego ciała człowieka

$$\gamma [G / cm^3] = 0,69 + 0,9c$$

$$\text{gdzie } c = \frac{\text{wys. c. } [m]}{\sqrt[3]{\text{masa c. } [kg]}}$$

Obliczanie ciężaru właściwego ciała człowieka(ρ)

- $\rho = 0,69 + 0,9 c$

- Gdzie $c =$ wysokość ciała / 3pierwiastek z ciężaru ciała[m/kg]

Ciężar właściwy tkanek i całego ciała

Tkanki	G/cm ³
Kości korowe	1,8
Kręgi lędźwiowe	0,6 - 1
Mięśnie	1,067
Tk. tłuszczowa	<1
Płuca z powietrzem	<1
Całe ciało	1,03 - 1,1

masa - metoda zanurzeniowa

- metoda ta wykorzystuje znajomość średniej gęstości ciała oraz możliwość oznaczenia objętości części ciała (poprzez zanurzenie i pomiar objętości wody wypartej)
- Gęstość (masa właściwa) to stosunek masy do objętości ciała wyrażony najczęściej w gramach na jednostkę objętości (g/cm³).

$$\delta = \frac{m}{V} \left[\frac{g}{cm^3} \right]$$

- masa części ciała = gęstość średnia x objętość części ciała
 - $m_{cz.c.} = \delta_{sr.} \times V_{cz.c.}$





masa - metoda zanurzeniowa

Gęstość wybranych tkanek tułowia [Erdmann, Gos, 1990]

	0	1	2
płuco		o	
żółć		o	
treść pokarmowa		o	
tluszcz podskórny		o	
jądro krążka m.kręgowego		o	
krew		o	
rdzeń kręgowy		o	
kość gąbczasta		o	
skóra		o	
mięsień sercowy		o	
więzadło		o	
nerka		o	
wątroba		o	
brzusiec m. szkieletowego		o	
ścięgno m. szkieletowego		o	
chrząstka tchawicy		o	
kość zbita			o



- najmniejszą masę właściwą charakteryzują się płuca człowieka (ok. $0,6 \text{ g/cm}^3$), największą gęstość posiada substancja zbita kości (ok. $1,9 \text{ g/cm}^3$) Zależnie od proporcji poszczególnych tkanek będzie zmieniała się gęstość różnych części ciała.

Oznaczanie masy części ciała

Pośrednie metody oznaczania masy części ciała można przedstawić w dwóch grupach:

- metody wykorzystujące dane ogólne:
 - met. współczynników mas (wg tabeli mas względnych),
 - met. zanurzeniowa (z wykorzystaniem ogólnych wartości gęstości ciała);
- metody oparte na danych indywidualnych:
 - met. równań regresji (z wykorzystaniem pomiarów antropometrycznych),
 - met. zanurzeniowa (przy obliczaniu indywidualnej gęstości ciała).

Środkiem ciężkości ciała nazywamy punkt, w którym przyłożona jest wypadkowa sił ciężkości(ciężarów) wszystkich elementów ciała

Własności środka ciężkości

1. Środek ciężkości płaskich i regularnych figur leży w ich środku geometrycznym
2. Środek ciężkości jednorodnych brył mających środek symetrii (kula, sześcian) leży w ich środku symetrii
3. Środek ciężkości brył jednorodnych mających oś symetrii leży na tej osi
4. Bryła zawieszona w punkcie będącym jej środkiem ciężkości znajdzie się w równowadze obojętnej
5. Środek ciężkości i masy nie są pojęciami tożsamymi i mogą leżeć w różnych punktach. Jednak środek ciężkości ciała znajdującego się w jednorodnym polu grawitacyjnym (pole grawitacyjne ziemi) leży w punkcie, który jest też środkiem masy

Środek masy ciała OSM

- w mechanice to punkt, do którego jest przyłożona wypadkowa wszystkich sił ciężkości części ciała. We wszystkie strony od tego punktu, w dowolnym od niego kierunku, siły ciężkości wzajemnie się równoważą, sumy momentów są sobie równe.
- położenie OSM jest zależne od typu budowy ciała.
- w symetrycznej pozycji stojącego ciała, z opuszczonymi rękami OSM znajduje się na poziomie od 1 do 5 kręgu krzyżowego, ok. 4,5 cm powyżej stawów biodrowych.
- w płaszczyźnie strzałkowej OSM jest położony między kością krzyżową a spojeniem łonowym, przemieszczając się wraz ze zmianami położenia ciała. ze zmianą położenia części ciała względem siebie również OSM zmienia swoje położenie. Przesuwa się w stronę zgodną z kierunkiem ruchu którejkolwiek z części ciała.



środek masy ciała OSM

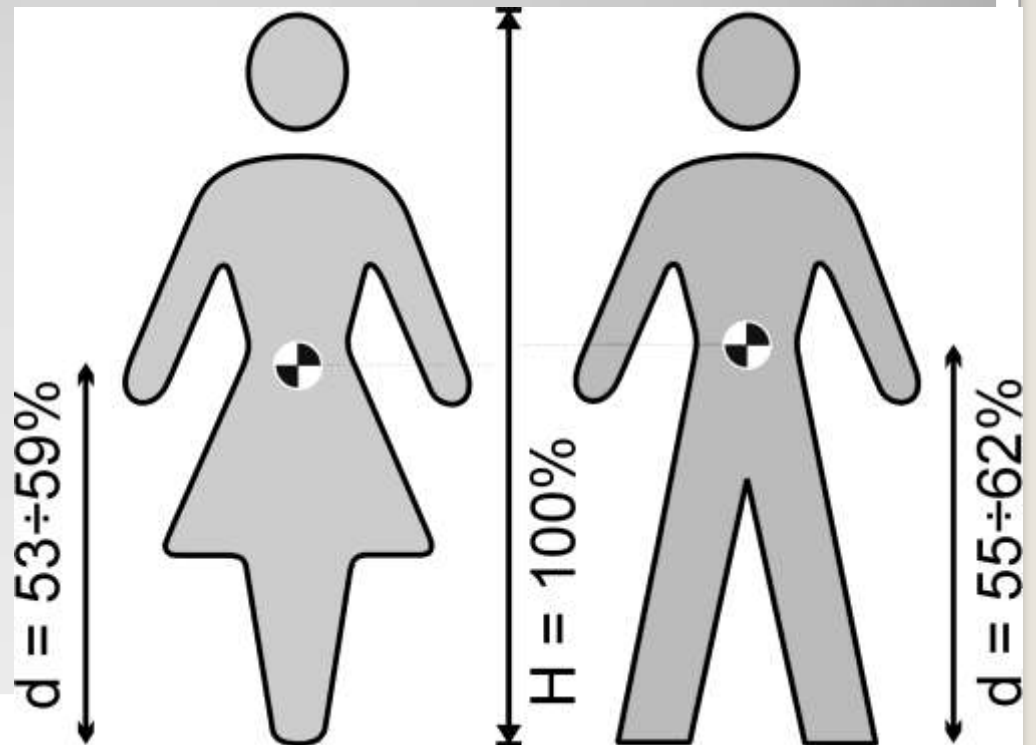
- położenie OSM zależy również od płci. U kobiet znajduje się nieco niżej niż u mężczyzn. Wynika to z różnic sylwetki kobiecej i męskiej.
- w niektórych położeniach OSM może się znajdować poza ciałem, co podkreśla, że nie jest to punkt ciała, ale wyobrażalny punkt przyłożenia wypadkowej siły ciężkości części ciała, nie istniejącej w rzeczywistości jako jedna siła.



ŚRODEK MASY CIAŁA

- Położenie OSM zależy również od płci. U kobiet znajduje się nieco niżej niż u mężczyzn.

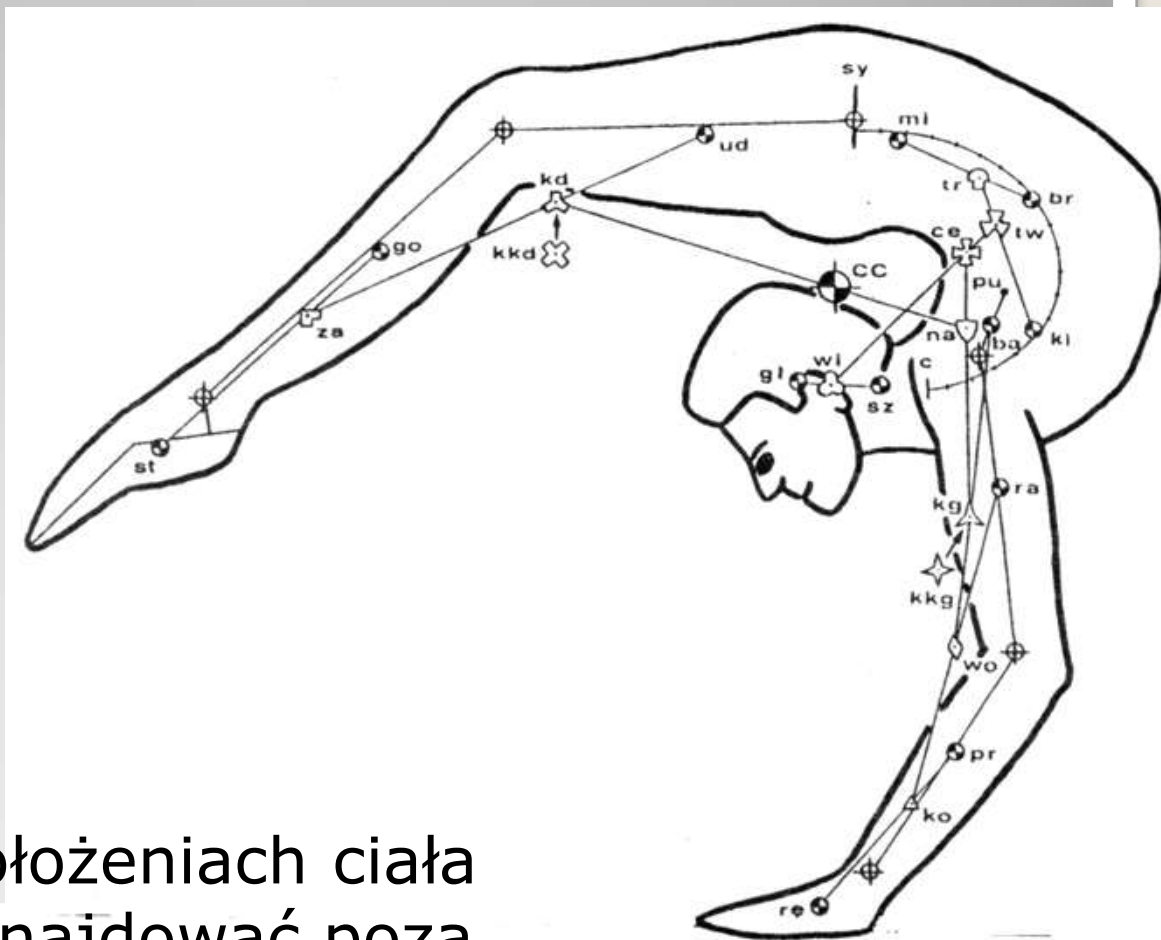
✦ Wynika to z różnic w budowie sylwetki kobiecej i męskiej (bardziej rozwinięta obręcz biodrowa u kobiet i mocniejsza obręcz barkowa u mężczyzn).



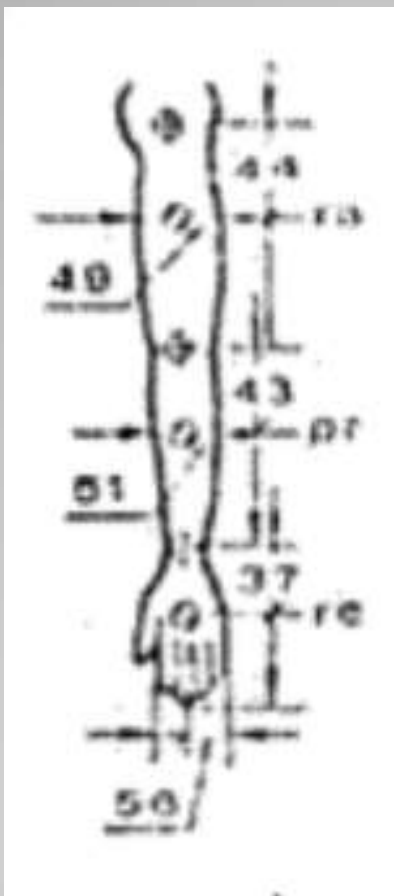
ŚRODEK MASY CIAŁA

⌘ OSM nie jest konkretnym punktem ciała, ale wyobrażalnym punktem przyłożenia wypadkowej siły ciężkości części ciała, która nie istnieje w rzeczywistości jako jedna siła.

- W niektórych położeniach ciała OSM może się znajdować poza ciałem.



Promienie wodzące



- Środki ciężkości segmentów ciała leżą w pewnej odległości od ich osi obrotu-tutaj stawu bliższego. Na tym rysunku odległości podane są w % długości segmentu. Te odległości nazywamy promieniami wodzącymi

promień środka masy

- znajomość położenia OSM jest bardzo ważnym elementem przy analizie ruchu i pozycji statycznych ciała. Położenie to określa się wartością promienia środka masy w stosunku do przyjętego układu odniesienia. Układem może być jeden z końców ciała, charakterystyczny punkt na ciele lub przyjęty punkt poza ciałem.
- różnice położenia OSC mogą wynikać z:
 - płci
 - wieku
 - budowy ciała
 - grupy zawodowej lub sportowej
- promień OSM całego ciała u kobiet waha się najczęściej w granicach 53-59%, u mężczyzn zaś 55-62 % długości całego ciała, licząc od punktu Basis (B)
- chcąc określić położenie OSM w różnych pozycjach ciała, należy wyznaczyć masy części ciała i rozmieszczenie ich środków ciężkości.

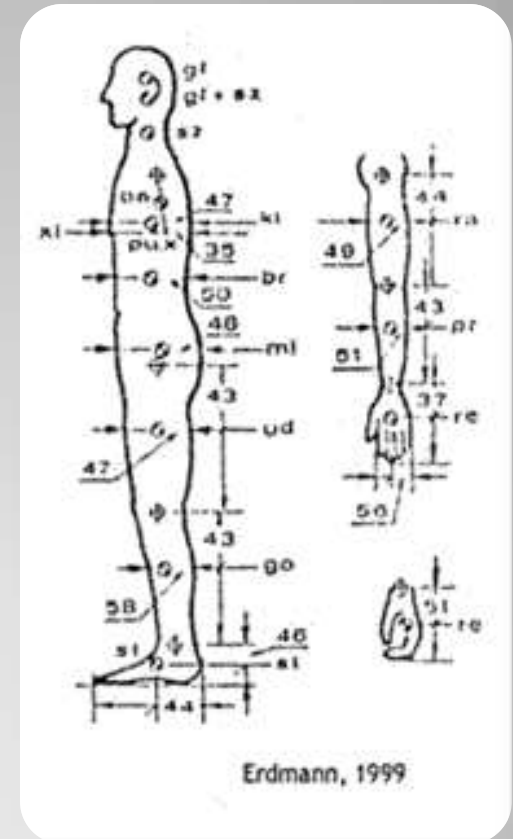
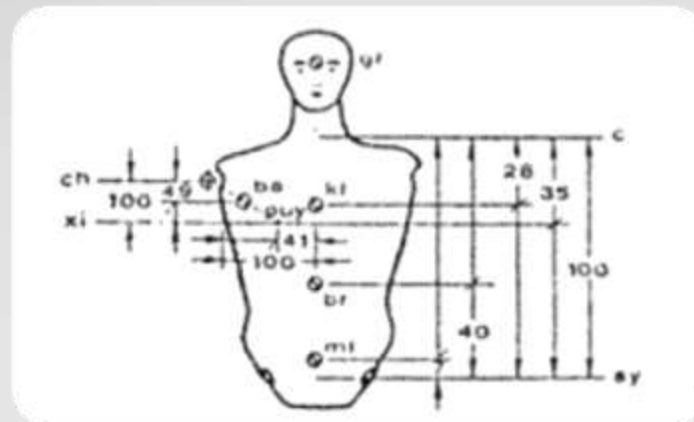
Autorzy danych o ciężarach i promieniach wodzących segmentów ciała

1. Harles (1860)
 2. Braune i Fischer (1889)
 3. Clauser i wsp (1969)
 4. Zalciosky i Selujanow (1981)
-
- 1,2,3 badania na zwłokach
 - 4 badania na osobnikach żywych

położenie środków mas części ciała

środki ciężkich długich części ciała leżą w przybliżeniu na ich osiach długich, promienie środków masy części kończyn wynoszą około 43% ich długości licząc od stawu proksymalnego (bliższego tułowiu), przyjmując za 100% odległość między osiami sąsiednich stawów.

promienie środków mas części tułowia oraz głowy i szyi określa się przy pomocy umownego układu odniesienia.



Erdmann, 1999

Moment bezwładności

- **moment bezwładności jest miarą bezwładności w ruchu obrotowym**
- wielkość jest pochodną masy i kwadratu promienia obrotu, a więc odległości środka masy ciała od osi obrotu. Odległość ta jest nazywana promieniem bezwładności.
- Moment bezwładności oznaczamy literą I
- $$I = m \times d^2 \text{ [kg} \times \text{m}^2\text{]}$$
- obrót ciała może następować wokół własnej osi ciała lub osi ustalonych, zewn. O ile masa ciała zazwyczaj pozostaje taka sama, promień bezwładności ulega zmianie, zależnie od wykonywanego elementu. Im bliżej osi obrotu są elementy ciała, tym mniejszy moment bezwładności będzie charakteryzował wykonywany ruch obrotowy.



metody wyznaczania położenia OSM

- metody bezpośrednie:
 - metoda dźwigni dwustronnej
 - metoda dźwigni jednostronnej
- metody pośrednie
 - metoda analityczna (sumowania momentów mas),
 - metoda graficzna (sumowania mas)

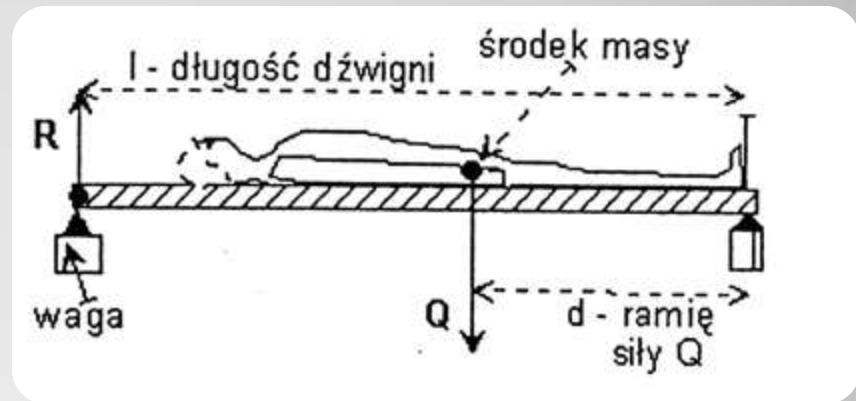
OSM – metoda dźwigni jednostronnej

- $M_Q - M_R = 0$, $M_Q = M_R$, $R = R_c - R_d$ [kg]
- $Q \cdot d = R \cdot l$
- $d_{osc} = R \cdot l / Q$ [cm]
- $d_w = d / h$ [%]

d_w [%] - względne położenie OSC, czyli stosunek procentowy

d_{osc} do długości całego ciała

d_{osc} [cm] - ramię ogólnego środka ciężkości



WYZNACZANIE OSM

Aby dźwignia pozostała w równowadze momenty działających sił muszą się równoważyć:

moment siły reakcji = moment siły ciężkości

$$M_R = R \times l \quad \text{oraz} \quad M_Q = Q \times r$$

$$M_Q = M_R \quad \text{z czego} \quad R \times l = Q \times r$$

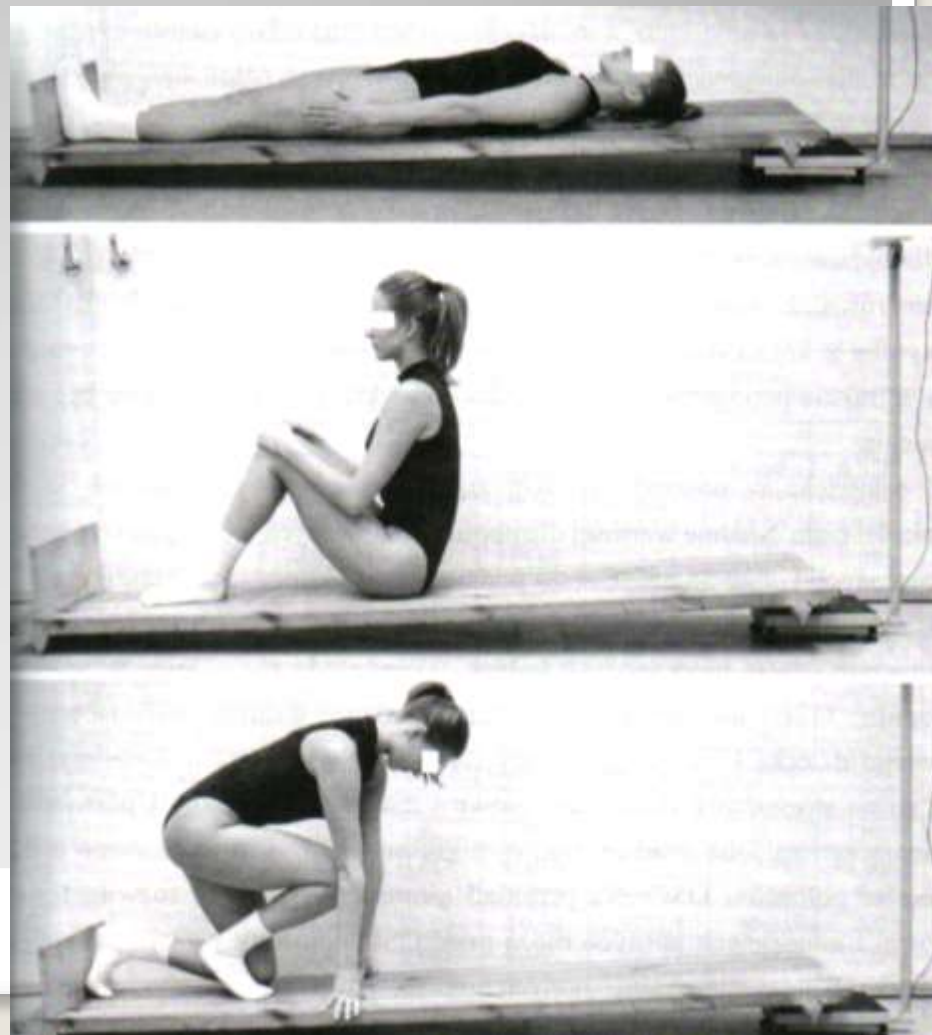
z powyższego równania obliczamy wartość ramienia siły ciężkości (r):

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

Obliczona wartość r jest wielkością **promienia OSM**.

WYZNACZANIE OSM

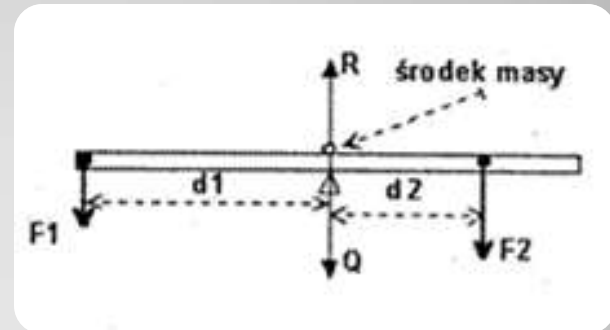
- Metoda dźwigni jednostronnej może być wykorzystywana do wyznaczenia OSM w różnych ułożeniach ciała.



OSM – metoda dźwigni dwustronnej

- obok metody dźwigni jednostronnej jest najprostszą, bezpośrednią (możliwą do stosowania na żywym obiekcie) metodą wyznaczania położenia OSM
- polega na ułożeniu badanego na dźwigni w takiej pozycji, aby dźwignia pozostała w równowadze, tzn., że momenty sił po obu stronach punktów podparcia muszą się równoważyć (warunek równowagi dźwigni)

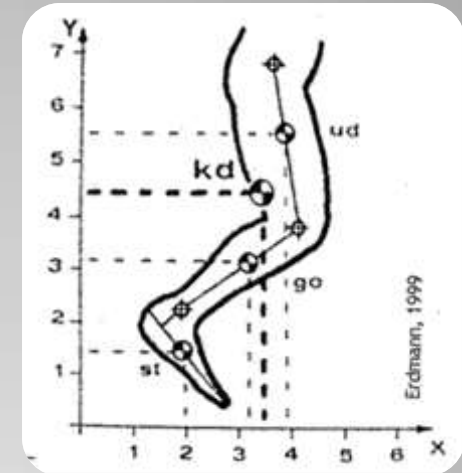
- $M_{F_1} = F_1 \times d_1$ $M_{F_2} = F_2 \times d_2$
muszą być sobie równe $M_{F_1} = M_{F_2}$



wówczas dźwignia pozostanie w równowadze, a OSM będzie się znajdował dokładnie nad punktem podparcia.

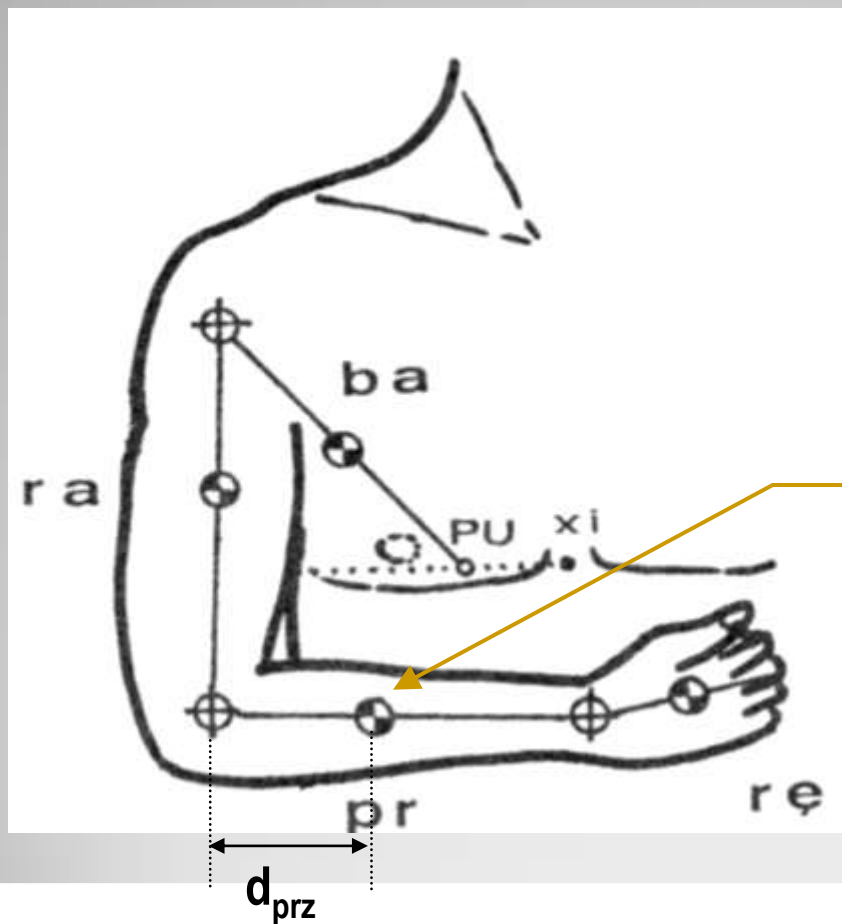
OSM – metoda analityczna

- **metoda sumowania momentów mas**
- moment masy jest iloczynem masy ciała (lub części jego części) i promienia środka masy. Promień może być odległością środka masy od punktu wyznaczonego na ciele, lub od umownego układu odniesienia.
- Momenty mas i ich sumy oblicza się następująco:
- $m_{uda} \times x_{uda} = Mx_{uda}$ $m_{uda} \times y_{uda} = My_{uda}$
- $m_{go} \times x_{go} = Mx_{go}$ $m_{go} \times y_{go} = My_{go}$
- $m_{st} \times x_{st} = Mx_{st}$ $m_{st} \times y_{st} = My_{st}$
- -----
- suma = Mx_i suma = My_i
- obliczenie masy: suma = $m_{uda} + m_{go} + m_{st}$
- obliczenie współrzędnych OSM:



$$x_{kd} = \frac{\sum Mx_i}{\sum m_i} \quad y_{kd} = \frac{\sum My_i}{\sum m_i}$$

METODA ANALITYCZNA



Moment masy przedramienia:

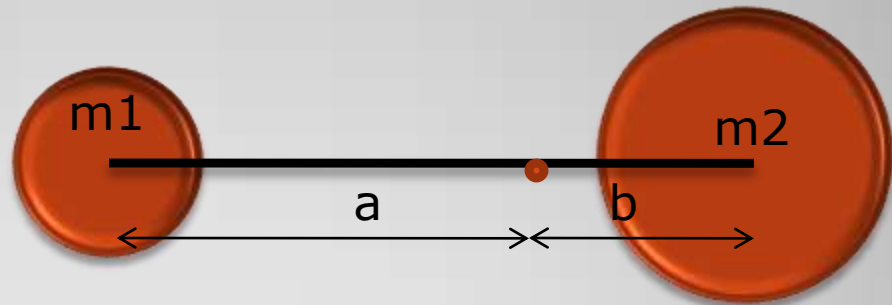
$$M_{\text{prz}} = m_{\text{prz}} \times d_{\text{prz}} \\ [\text{kg} \times \text{m}]$$

środek masy przedramienia
(reprezentuje masę całego przedramienia)

d_{prz} – promień środka masy przedramienia względem osi stawu łokciowego

OSM – metoda graficzna

- metoda sumowania mas jest metodą wykorzystującą zależność: jeżeli mamy dwa ciała (lub części ciała) o dwóch różnych masach i znamy odległość pomiędzy środkami mas, to wspólny środek masy będzie położony w odległości **a** od środka masy części cięższej



$$b = \frac{m_1}{m_1 + m_2} * (a + b)$$

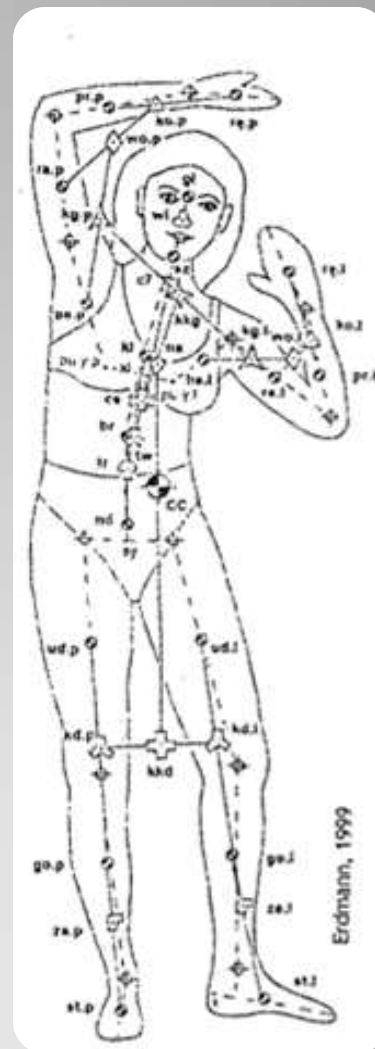
OSM – metoda graficzna

- Kolejność postępowania:
 1. wyznaczenie osi stawów
 2. połączenie osi stawów liniami prostymi (poza tułowiem – linia przez środek)
 3. wyznaczenie położenia środków mas poszczególnych części ciała (względne promienie środków mas)
 4. kolejne wyznaczanie wspólnych środków mas sąsiednich części ciała najbardziej obwodowych (kończyny, głowa, szyja), kończy natomiast w centrum ciała (tułów)
 5. zawsze do kolejnego poziomu przechodzi się łącząc już wyznaczony wspólny środek masy kolejnych segmentów z następnym środkiem według podanej kolejności
 6. masę oblicza się wykorzystując tabelę mas względnych lub równania regresji. Nie ma jednak konieczności obliczania indywidualnych mas wszystkich części ciała, dlatego kolejne współczynniki są jednakowe dla wszystkich badanych

OSM – metoda graficzna

1. rę + prz = ko	1 + 2 = 3	a ₁	= 1/3 d ₁
2. ko + ra = kg _w	3 + 3 = 6	a ₂	= 1/2 d ₂
3. kg _w + ba = kg	6 + 5 = 11	a ₃	= 5/11 d ₃
4. kgp + kgl = kkg	11 + 11 = 22	a ₄	= 1/2 d ₄
5. mi + brz = tr	11 + 16 = 27	a ₅	= 11/27 d ₅
6. tr + klp = tw	11 + 27 = 38	a ₆	= 11/38 d ₆
7. sz + gł = wi	3 + 5 = 8	a ₇	= 3/8 d ₇
8. wi + tw = ce	8 + 38 = 46	a ₈	= 8/46 d ₈
9. kkg + ce = na	22 + 46 = 68	a ₉	= 22/68 d ₉
10. st + go = za	2 + 4 = 6	a ₁₀	= 2/6 d ₁₀
11. za + udo = kd	6 + 10 = 16	a ₁₁	= 6/16 d ₁₁
12. kdp + kdl = kkd	16 + 16 = 32	a ₁₂	= 1/2 d ₁₂
13. kkd + na = cc	32 + 68 = 100	a ₁₃	= 32/100 d ₁₃

13' kkg + udo = cc	35 + 68 = 100	a _{13'}	= 35/100 d _{13'}
15' kkb + kqr = kkg	10 + 10 = 20	a _{15'}	= 1/5 d _{15'}
12' sz + rko = rkg	7 + 10 = 17	a _{12'}	= 7/17 d _{12'}



MOMENT BEZWŁADNOŚCI

- ✦ O ile masa może być uznana miarą bezwładności w ruchu postępowym, to moment bezwładności będzie spełniał podobną rolę w odniesieniu do ruchu obrotowego.
- ✦ Moment bezwładności jest oznaczony literą **I**.

$$I = m \times d^2 \text{ [kg} \times \text{m}^2\text{]}$$

Gdzie:

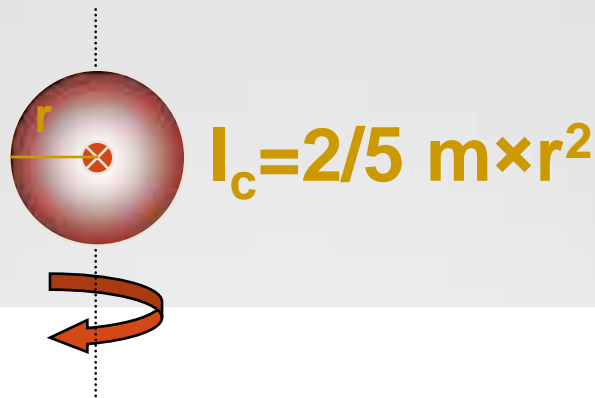
- m** - masa ciała (skupiona w umownym punkcie - środku masy)
- d** - odległość środka masy od osi obrotu - promień bezwładności

MOMENT BEZWŁADNOŚCI

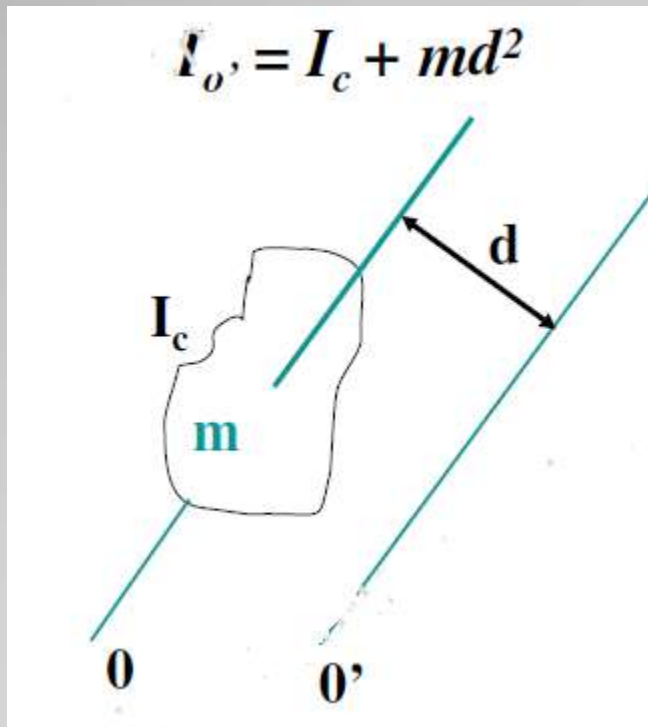
✦ Moment bezwładności jest pochodną masy i kwadratu promienia obrotu, a więc odległości środka masy ciała (reprezentującego całą masę ciała lub jego części) od osi obrotu.

Odległość ta jest nazywana promieniem bezwładności.

Centralny moment bezwładności kuli jednorodnej:



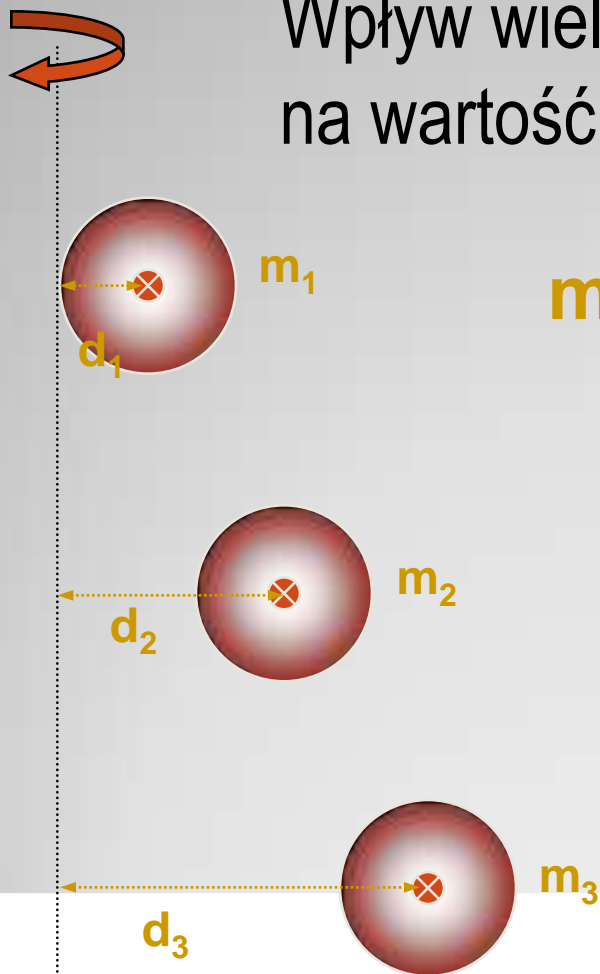
Centralny moment bezwładności



- Centralny moment bezwładności ciała A jest to moment bezwładności wyznaczony względem osi przechodzącej przez środek masy ciała

MOMENT BEZWŁADNOŚCI

Wpływ wielkości promienia bezwładności na wartość momentu bezwładności:



$$m_1 = m_2 = m_3 \quad d_1 < d_2 < d_3$$

$$I_1 = I_c + m_1 \times d_1^2$$

$$I_2 = I_c + m_2 \times d_2^2$$

$$I_3 = I_c + m_3 \times d_3^2$$

$$I_1 < I_2 < I_3$$

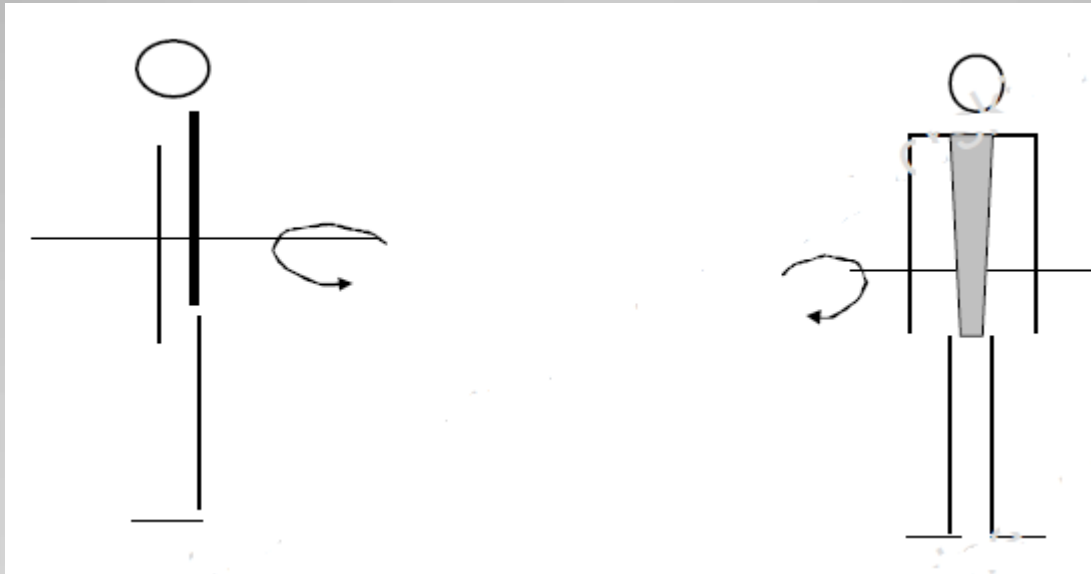
MOMENT BEZWŁADNOŚCI

- ✦ Obrót ciała może następować wokół osi własnych ciała lub osi ustalonych, zewnętrznych.
- ✦ Masa ciała zazwyczaj pozostaje taka sama, promień bezwładności ulega znacznej zmianie.
- ✦ Im bliżej osi obrotu znajdują się segmenty ciała, tym mniejszy moment bezwładności będzie charakteryzował wykonywany ruch obrotowy.
- ✦ O prędkości obrotu decyduje kolejna wielkość inercyjna charakteryzująca ruch obrotowy. Jest to pochodna prędkości kątowej i momentu bezwładności - **moment pędu, czyli kręt.**

Przykładowe wartości momentu bezwładności ciała człowieka w stosunku do głównych osi

Pozycja	Oś obrotu	Moment bezwładności [kgm ²]
stojąca	strzałkowa	12,0 - 15,0
stojąca	poprzeczna	10,5 - 13,0
skulona	poprzeczna	4,0 - 5,0
stojąca	długa	1,0 - 1,2
Stożąca RR (RR w bok)	długa	2,0 - 2,5

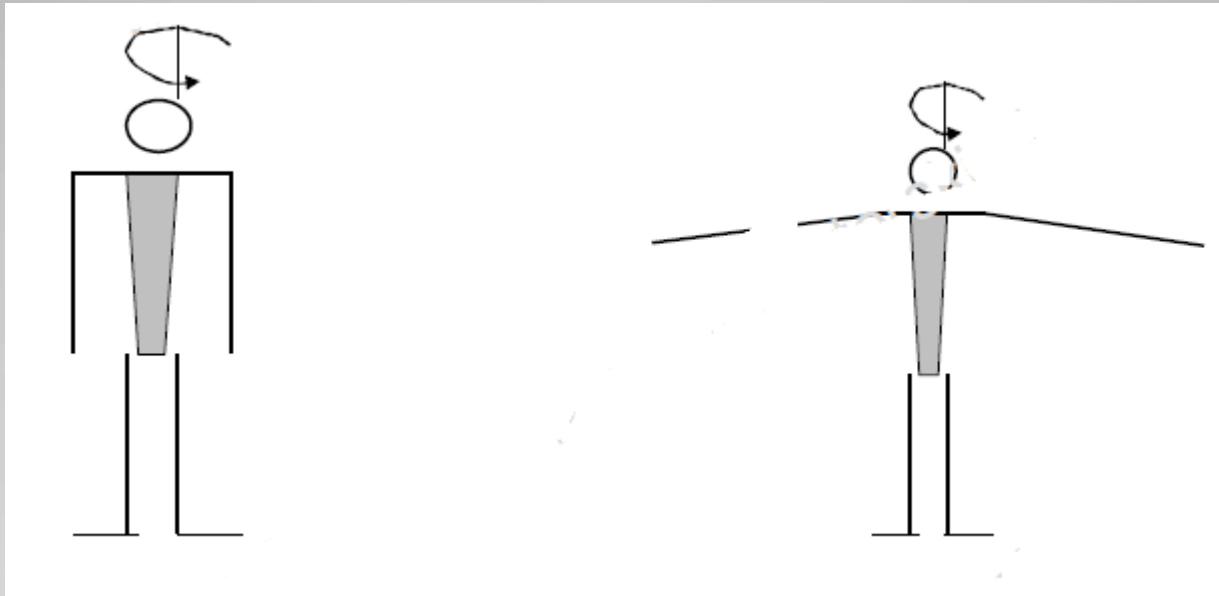
MOMENT BEZWŁADNOŚCI



- 12 – 15kgm²

10,5 - 13kgm²

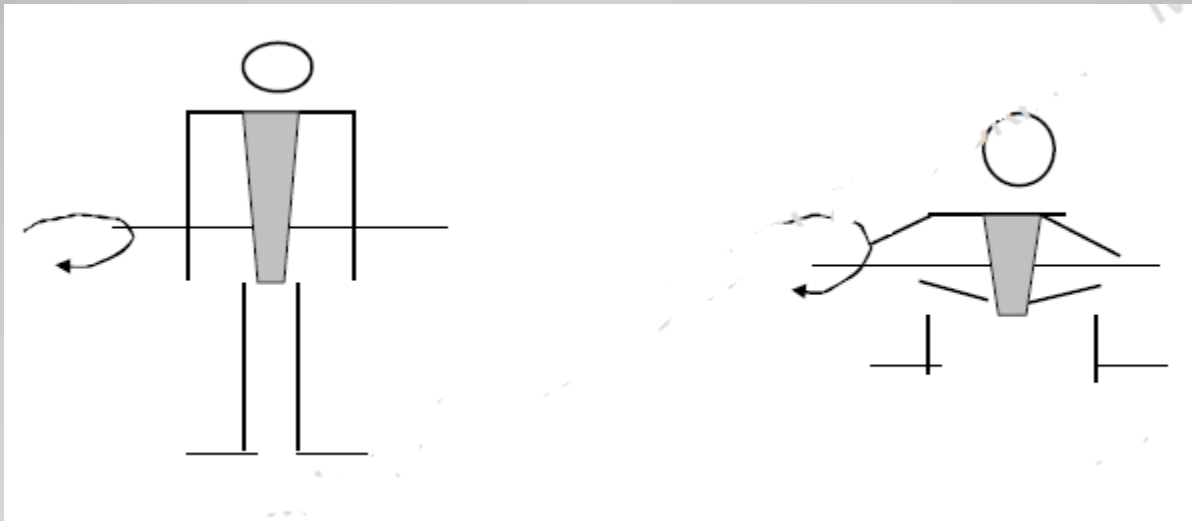
MOMENT BEZWŁADNOŚCI



- 1,0 – 1,2 kgm²

2,0 – 2,5kgm²

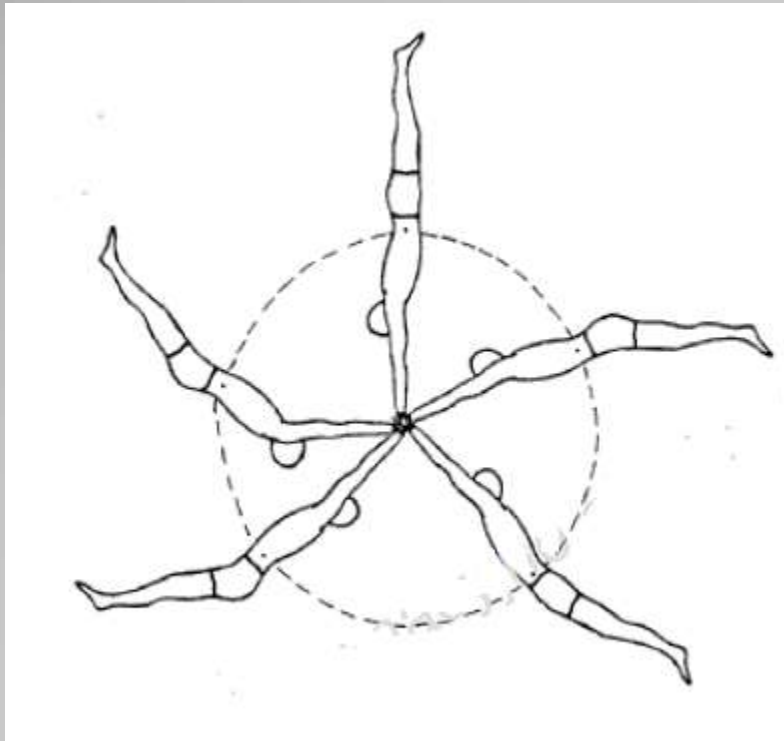
MOMENT BEZWŁADNOŚCI



- 10,5 – 13kgm²

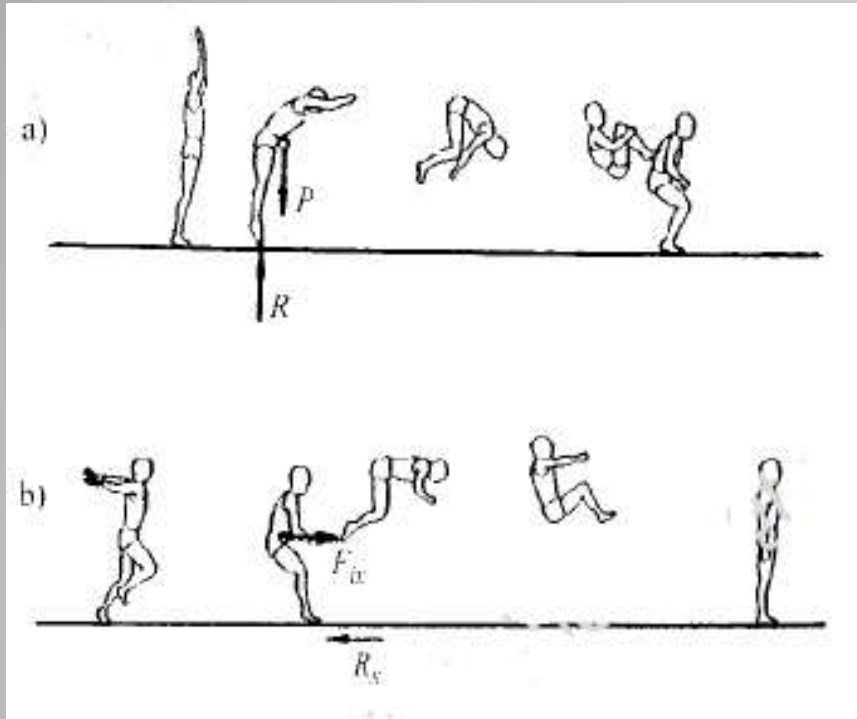
4,0 – 5,0kgm²

OBRÓT CIAŁA WOKÓŁ OSI USTALONEJ



- Tor ruchu środka ciężkości zawodnika wykonującego kołowrót olbrzymi

OBRÓT CIAŁA WOKÓŁ OSI SWOBODNYCH (SALTO W PRZÓD)



- a) Z miejsca
- b) Z rozbiegu
- Patrz: moment obrotowy wywołany para sił P (pochodzącą od grawitacji) i R (reakcji) oraz siłą F_v (rozbiegu) i R_v (reakcji - tarcia)

MOMENT PĘDU - KRĘT

✦ Zgodnie z prawem zachowania momentu pędu, pęd jest wielkością stałą, niezależnie od promienia obrotu. Moment pędu jest iloczynem momentu bezwładności ciała oraz prędkości kątowej.

$$\star \mathbf{K} = \mathbf{I} \times \boldsymbol{\omega}$$

Gdzie:

\mathbf{K} – kręt

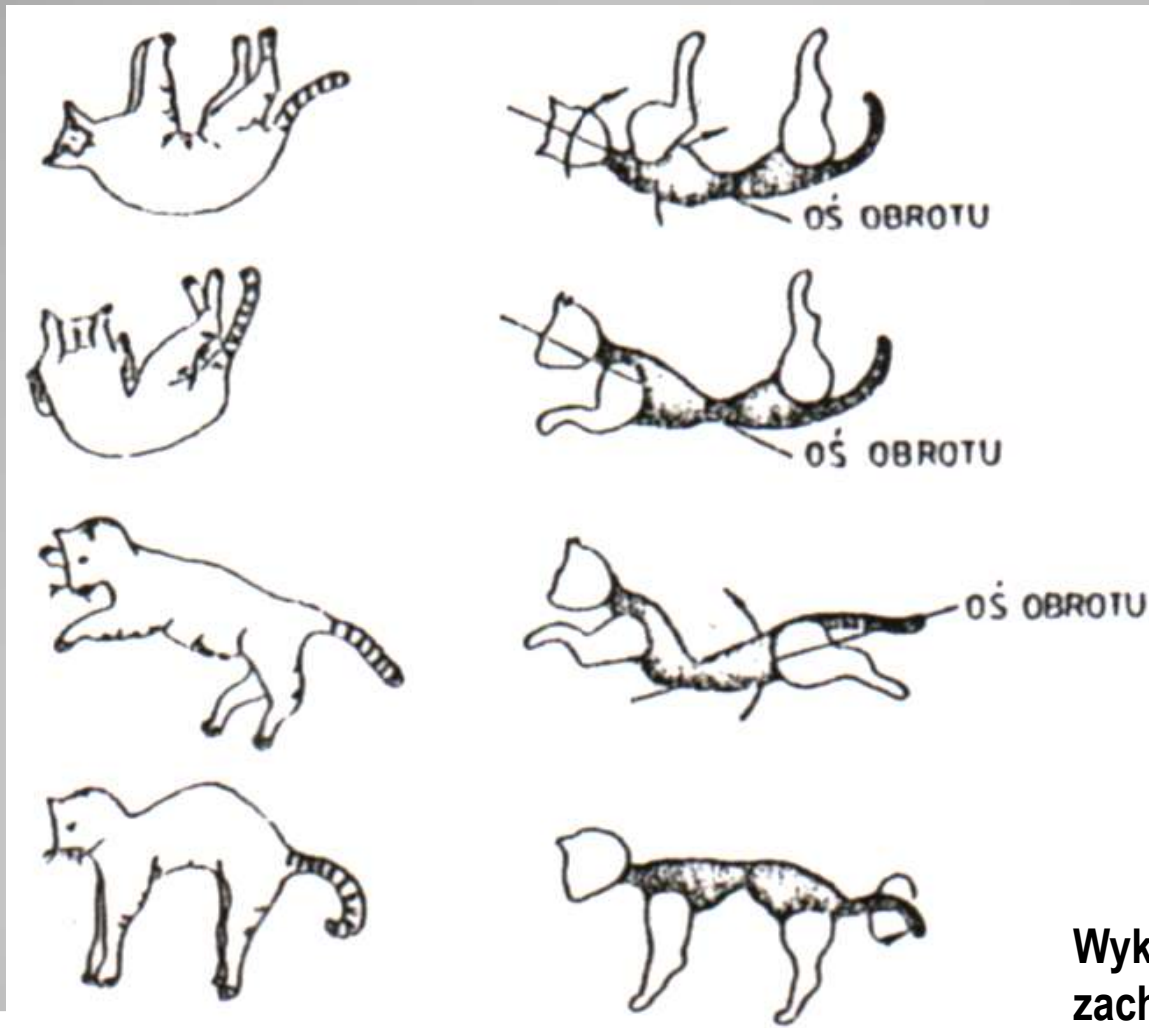
\mathbf{I} – moment bezwładności

$\boldsymbol{\omega}$ – prędkość kątowa obrotu

MOMENT PĘDU - KRĘT

- ✦ Każda zmiana składowych wielkości krętu musi być proporcjonalna (przeciwna, aby iloczyn pozostał bez zmian).
- ✦ Oznacza to, że w przypadku zwiększenia momentu bezwładności ciała (oddalenie masy od osi obrotu), spada jednocześnie prędkość kątowna ruchu.
- ✦ Wynika to również z zależności między prędkością liniową i kątowną $\mathbf{v} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}$ (wektor prostopadły do promienia bezwładności).

MOMENT PĘDU - KRĘT



Wykorzystanie zasady zachowania momentu pędu