

МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ МЕДИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра фізичної реабілітації, спортивної медицини,
фізичного виховання і здоров'я

Біомеханіка і клінічна кінезіологія

Тема 8-9. ГЕОМЕТРІЯ МАС ТІЛА ЛЮДИНИ

Методичні рекомендації для самостійної роботи
студентів III курсу медичних факультетів
спеціальності «Фізична терапія, ерготерапія»

Запоріжжя

2020

Затверджено:

на засіданні кафедри фізичної реабілітації, спортивної медицини, фізичного виховання і здоров'я ЗДМУ протокол № 1 від 27.08.2020 р.

на ЦМР ЗДМУ протокол № 1 від 28.08.2020 р.

Автори:

Дорошенко Е.Ю., доктор наук з фізичного виховання та спорту, професор кафедри фізичної реабілітації, спортивної медицини, фізичного виховання і здоров'я ЗДМУ;

Гурсьва А.М., кандидат наук з фізичного виховання та спорту, доцент кафедри фізичної реабілітації, спортивної медицини, фізичного виховання і здоров'я ЗДМУ;

Черненко О.Є., кандидат наук з фізичного виховання та спорту, доцент кафедри фізичної реабілітації, спортивної медицини, фізичного виховання і здоров'я ЗДМУ

Методичні рекомендації призначені для студентів, які навчаються за спеціальністю 227 «Фізична терапія, ерготерапія» ЗВО МОЗ України для допомоги у вивченні окремих питань біомеханіки та клінічної кінезіології, які віднесено до самостійної роботи згідно типової та робочої програм, в рамках підготовки до практичних занять та кращого засвоєння навчального матеріалу.

Актуальність теми. Розподіл маси тіла людини у просторі є важливою біологічною характеристикою організму. Саме він багато в чому визначає характер її енергетичних взаємодій з оточуючим середовищем. Для того, щоб виміряти та об'єктивно оцінити такий розподіл, визначають геометрію мас тіла людини. Одним із методів вимірювання геометрії мас тіла людини є аналітичний метод, який полягає у розрахунку мас біоланок тіла. Знаючи, які маси і моменти інерції ланок тіла і де розташовано їхні центри мас, можна вирішити багато важливих практичних задач.

Зміст

1. Руховий апарат людини як біомеханічна система, її склад та структура.
2. Геометрія мас тіла людини.

Список рекомендованої літератури

1. Біомеханіка спорту / За заг. ред. А.М. Лапутіна. – К.:Олімпійська література, 2001. – С. 122-140.
2. Визначення положення загального центру тяжіння тіла людини графічним методом (складання сил тяжіння) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://lib.chmnu.edu.ua/pdf/posibnuku/309/11.pdf>
3. Загальний центр мас тіла людини [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://helpiks.org/6-81971.html>
4. Энока Р.М. Основы кинезиологии. – К.: Олимпийская литература, 1998. – 399с.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

- 1. Руховий апарат людини як біомеханічна система, її склад та структура**

Руховий апарат людини – це саморушійний механізм, що складається з 600 м'язів, 200 кісток, декількох сотень сухожиль.

Ці цифри приблизні, оскільки деякі кістки (наприклад, кістки хребетного стовпа, грудної клітки) зрослися, а багато м'язів мають декілька голівок (наприклад, двоголовий м'яз плеча, чотириголовий м'яз стегна) або поділяються на безліч пучків (дельтоподібний, великий грудний, прямий м'яз живота, найширший м'яз спини і багато інших).

Вважається, що рухову діяльність людини за складністю можна порівняти з людським мозком – найбільш довершеним утворенням природи. І подібно до того, як вивчення мозку починають з дослідження його елементів (нейронів), так і в біомеханіці насамперед вивчають властивості елементів рухового апарата.

Під **локомоціями** (руховим переміщенням) розуміють самостійне переміщення живого організму на відстань, яка суттєво перевищує розмір його власного тіла.

До локомоцій людини відносять ходу, біг, стрибки, плавання, а також лазіння, повзання і т.п.

Кожний тип локомоцій має багато різноманітностей.

Розрізняють ходу звичайну, спортивну, гімнастичну, дитячу, парадні військові марші і т.п. в спорті виділяють біг на короткі, середні і довгі дистанції. Плавання ділять по стилям: кроль на грудях чи на спині, дельфін, брас...

Для виконання усіх цих рухових дій організм людини повинен зберігати стійкість і рівновагу в умовах швидкої зміни різних положень тіла. В цьому процесі бере безпосередню участь складна система кінематичних ланцюгів, які своєю дією закріплюють кожну степінь свободи в'язями. В організмі роль цих в'язів виконують м'язові скорочення і зовнішні сили, з яких найбільш важливою являється **загальний центр маси тіла** (ЗЦМ) як рівнодіюча сила.

Місцем прикладання рівнодіючої сили ЗЦМ вважають локалізацію його спереду хребта на рівні верхнього відділу крижів (2-й хребець).

Рівновага любого тіла в значній степені залежить від локалізації проекції ЗЦМ на площину опори, яка представлена при двохопорному стоянні поверхнею, що займають стопи і простором між ними.

Стійкість тіла знаходиться в залежності від площі опори і характеру розташування по відношенню до неї ЗЦМ. Так, стійкість тіла знижується внаслідок зменшення площі опори, збільшення відстані від неї до ЗЦМ і приближення проекції останньої до границі площі опори.

Площа опори залежить в свою чергу від величини опорної поверхні обох стоп, відстанню між внутрішніми контурами п'яткових відділів і кута розвороту стоп.



Людина не падає до тих пір, поки вертикальна лінія з центру ваги проходить через площу, обмежену його ступнями.



Якщо встати на одну ногу, то площа опори зменшиться, і зберігати рівновагу буде важче.



Ще складніше утримувати рівновагу на вузькому дроті, площа опори в цьому випадку дуже мала.

Усім цим даним властиві індивідуальні особливості, а індивідуальність ходи являється одним із доказів стійкого динамічного стереотипу ходи, що виробилася центральною нервовою системою (ЦНС) людини в процесі її філо- і онтогенетичного розвитку (Сеченов І.М., і др.)

Крім ЗЦМ в організмі людини (біомеханіці) існують *центри мас окремих ланок тіла* (наприклад, гомілки або передпліччя). Тому геометрія мас тіла (розподіл мас тіла) характеризується такими показниками, як вага (маса) окремих ланок тіла, положення центрів мас окремих ланок і всього тіла, моментом інерції і др..

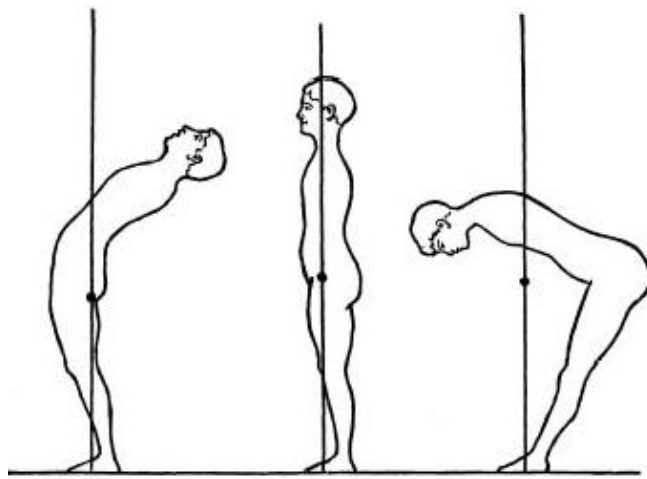
Вага окремих ланок тіла залежить від ваги тіла в цілому.

Центр мас твердого тіла являється цілком визначеною фіксованою точкою, що не змінює свого положення відносно тіла.

Центр же мас системи тіл може міняти своє положення, якщо міняється відстань між точками цієї системи.

В лежачому стані ЗЦМ зміщується в сторону голови приблизно на 1%; у жінок він розміщений в середньому на 1-2% нижче, чим у чоловіків; у дітей-дошкільнят він суттєво вище ніж у дорослих (наприклад, у однолітніх дітей в середньому на 15%).

При зміні пози ЗЦМ, природно, зміщується і в деяких випадках, конкретно при нахилі вперед і назад, може знаходитись за межами тіла людини (переліт через планку).



Руховий апарат складається з ланок.

Ланкою називається частина тіла, розташована між двома сусідніми суглобами чи між суглобом і дистальним кінцем. Наприклад, ланками тіла є кисть, передпліччя, плече, голова і т.д.

У людському тілі близько 70 ланок. Для вирішення більшості практичних завдань достатньо 15-ланкової моделі людського тіла. Зрозуміло, що в 15-ланковій моделі деякі ланки складаються з декількох елементарних ланок. Тому такі укрупнені ланки доцільно називати **сегментами**.

Знаючи, які маси й моменти інерції ланок тіла і де розташовані їх центри мас, можна вирішити багато важливих практичних завдань, зокрема:

- визначити кількість руху;
- визначити кінетичний момент;
- оцінити, наскільки легко/важко керувати швидкістю тіла або окремої ланки;
- визначити ступінь стійкості тіла тощо.

2. Геометрія мас тіла людини

Геометрією мас називається розподіл мас між ланками тіла та всередині них.

Геометрія мас тіла людини описується *мас-інерційними характеристиками*.

Найважливіші з них:

- ✓ маса,
- ✓ радіус інерції,
- ✓ момент інерції
- ✓ координати центру мас.

Маса (m) – це кількість речовини (в кілограмах), що міститься в тілі або окремій ланці. Маса є кількісною мірою *інертності тіла* відносно до діючої на нього сили. Чим більша маса, тим більш інертне тіло і тим важче вивести його зі стану спокою або змінити його рух.

Масою визначаються також *гравітаційні властивості тіла (g)*.

Так, вага тіла (у Ньютонах) залежить від його маси:

$$\mathbf{g = mg}$$

де $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння тіла.

Маса характеризує **інертність тіла** при поступальному русі.

При обертанні інертність залежить не тільки від маси тіла, але і від того, як вона розподілена відносно осі обертання. Чим більша відстань від ланки до осі обертання, тим більший внесок цієї ланки в інертність тіла.

Кількісною мірою інертності тіла відносно осі обертання служить *момент інерції*:

Момент інерції (J)– це кількісна міра інертності тіла при обертальному русі, що визначається множенням маси тіла й квадрата радіуса інерції:

$$\mathbf{J = mR^2}$$

де R – радіус інерції – середня відстань від осі обертання (наприклад, від осі суглоба) до матеріальних точок тіла.

Радіус інерції – це середня відстань від осі обертання (наприклад, від осі суглоба) до матеріальних точок тіла.

Центром мас(ЦМ) називається точка, де перетинаються лінії дії всіх сил, що зумовлюють поступальний рух тіла та не викликають його обертання. У полі гравітації (коли діє сила тяжіння) центр мас збігається з центром ваги.

Центр тяжіння – це точка, до якої прикладена рівнодіюча сил тяжіння всіх частин тіла.

Положення **загального центра мас (ЗЦМ) тіла** або **загального центра ваги тіла (ЗЦТТ)** визначається тим, де знаходяться центри мас окремих ланок. А це залежить від пози, тобто від того, як частини тіла розташовані один відносно одного в просторі.

Відстань від центру маси (ЦМ) до осі проксимального суглоба біоланки називають **радіусом центра маси (R_{ЦМ})**.

На геометрію маси впливають індивідуальні особливості людини, насамперед, маса й довжина тіла.

Маса та положення ЦМ окремих ланок і сегментів тіла людини, які отримані шляхом усереднення результатів дослідження багатьох людей, показані на рис. 1 і подані у табл. 1 та рис. 2.

На рисунку 1 приведені координати положень центрів мас сегментів на їх подовжніх осях: *зліва* – у % до довжини сегментів; *праворуч* – відносні маси сегментів.

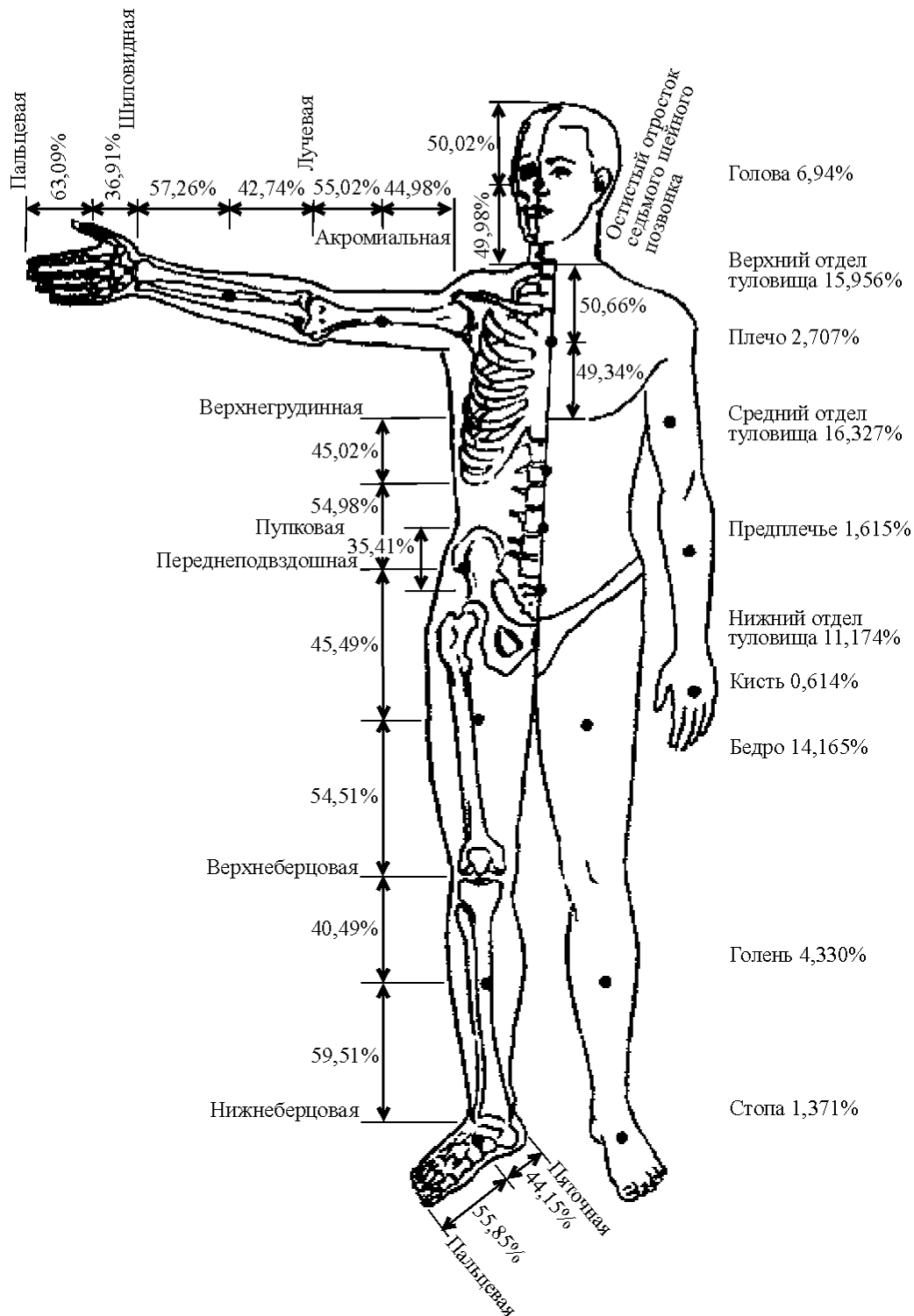


Рис. 1. Відносна маса й положення ЦМ сегментів тіла людини

**Відносна маса й положення ЦМ ланок і сегментів тіла людини
(В.М. Зациорский, А.С. Аруин, В.Н. Селуянов, 1981)**

Сегменти	Маса, %	Положення ЦМ (радіус ЦМ)	Антропометричні точки, від яких визначається положення ЦМ сегментів тіла людини
Стопа	1,371	0,5585	Передня частина стопи(пальці)
Гомілка	4,330	0,4049	Верхньогомілкорова
Стегно	14,165	0,4549	Великий вертлюгкульшового суглоба
Кисть	0,614	0,3691	Променево-зап'ястковий суглоб
Передпліччя	1,615	0,4274	Зовнішній над виросток плечової кістки
Плече	2,707	0,4498	Акроміальний виросток
Голова	6,940	0,5002	Верхня точка голови
Верхня частина тулуба	15,956	0,5066	Остистий відросток сьомого шийного хребця
Середня частина тулуба	16,328	0,4502	Нижньогрудинна
Нижня частина тулуба	11,740	0,3541	Пупкова

Примітка: при визначенні положення ЦМ ланок і сегментів їх довжину прийнято за одиницю.

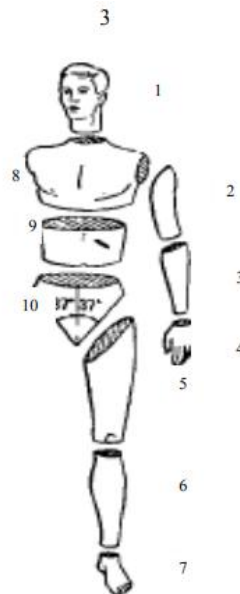


Рис. 2. Сегментування тіла людини

Якщо прийняти масу тіла за 100%, то масу кожної ланки або сегмента можна виразити у відносних одиницях.

При виконанні розрахунків використовують представлення маси як в абсолютних (кг), так і у відносних (%) одиницях.

Масу окремих ланок тіла людини можна визначити точніше, якщо використати рівняння лінійної регресії В.М. Селуянова:

$$m_x = B_0 + B_1m + B_2H$$

де m_x – маса сегмента тіла (кг);

m – маса всього тіла (кг);

H – довжина тіла (см);

B_0, B_1, B_2 – коефіцієнти рівняння регресії (табл.2 і 3).

Таблиця 2

Коефіцієнти рівняння регресії для обчислення маси сегментів тіла чоловіків за масою (m) і довжиною (H) тіла

Сегменти	Коефіцієнти рівняння регресії		
	B0	B1	B2
Стопа	-0,829	0,0077	0,0073
Гомілка	-1,592	0,0362	0,0121
Стегно	-2,649	0,1463	0,0137
Кисть	-0,1165	0,0036	0,00175
Передпліччя	0,3185	0,01445	-0,00114
Плече	0,250	0,03012	-0,0027
Голова	1,296	0,0171	0,0143
Верхня частина тулуба	8,2144	0,1862	-0,0584
Середня частина тулуба	7,181	0,2234	-0,0663
Нижня частина тулуба	-7,498	0,0976	0,04896

Коефіцієнти рівняння регресії для обчислення маси сегментів тіла жінок за масою (m) і довжиною (H) тіла

Сегменти	Коефіцієнти рівняння регресії		
	B0	B1	B2
Стопа	-1,207	-0,0175	0,0057
Гомілка	-0,436	-0,011	0,0238
Стегно	5,185	0,183	-0,042
Кисть	-0,116	0,0017	0,0020
Передпліччя	0,295	0,009	0,0003
Плече	0,206	0,0053	0,0066
Голова	2,388	-0,001	0,015
Верхня частина тулуба	-16,593	0,140	0,0995
Середня частина тулуба	-2,741	0,031	0,056
Нижня частина тулуба	-4,908	0,124	0,0272

Коефіцієнти B0, B1, B2 отримані шляхом усереднення результатів дослідження багатьох людей.

Знаючи, які маси й моменти інерції ланок тіла й де розташовано їхні центри мас, можна вирішити багато важливих практичних завдань:

- визначити кількість руху, що рівна добутку маси тіла на його лінійну швидкість ($m \cdot v$);
- визначити кінетичний момент, що дорівнює добутку моменту інерції тіла на кутову швидкість ($J \cdot \omega$); при цьому потрібно враховувати, що величини моменту інерції щодо різних осей неоднакові;
- оцінити, легко або важко управляти швидкістю тіла або окремої ланки;
- визначити ступінь стійкості тіла й т.д.

Загальний центр мас складається з центрів мас окремих частини тіла (біоланок). Для визначення координат центра маси окремої біоланки необхідно

знати загальну довжину сегменту. З використанням Рис. 3 можна визначити розташування центру маси кожної біоланки.

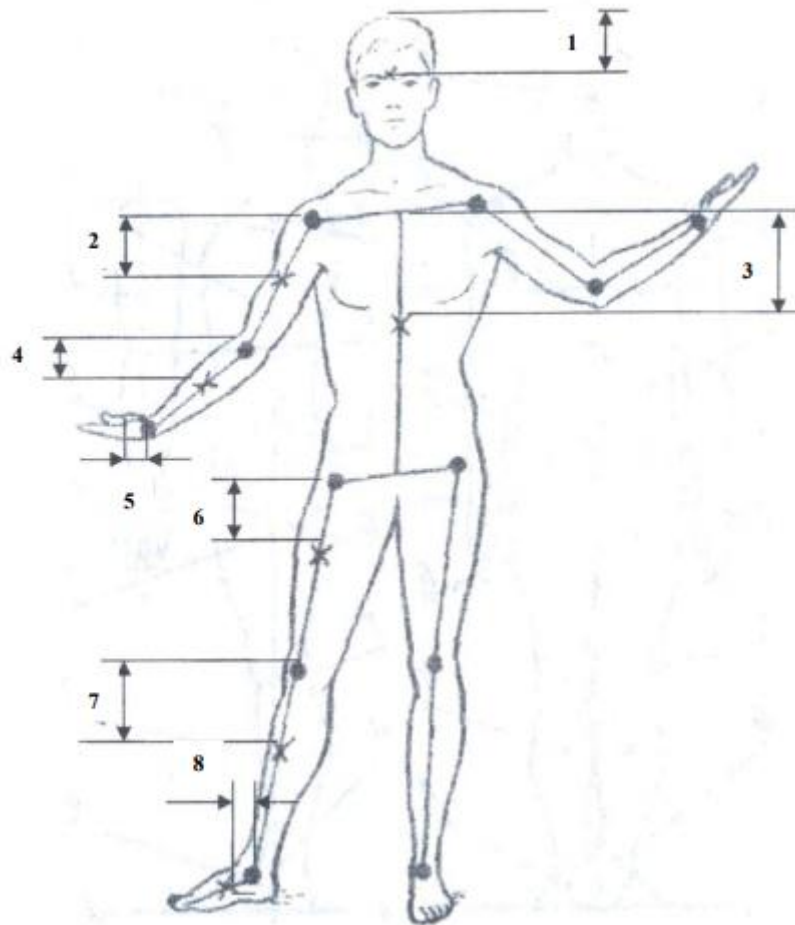


Рис. 3 Відносне розташування центрів мас сегментів тіла людини

де: **1**- 0,500; **2**- 0,449; **3**- 0,440; **4** – 0,427; **5** – 0,369; **6** – 0,457; **7** – 0,404; **8** – 0,441

Знаючи маси окремих сегментів і їх центри мас, можна визначити координати загального центра маси тіла ($X_{цм}$, $Y_{цм}$) за формулами:

$$X_{цм} = \frac{\sum(m_i * X_i)}{m} \qquad Y_{цм} = \frac{\sum(m_i * Y_i)}{m}$$

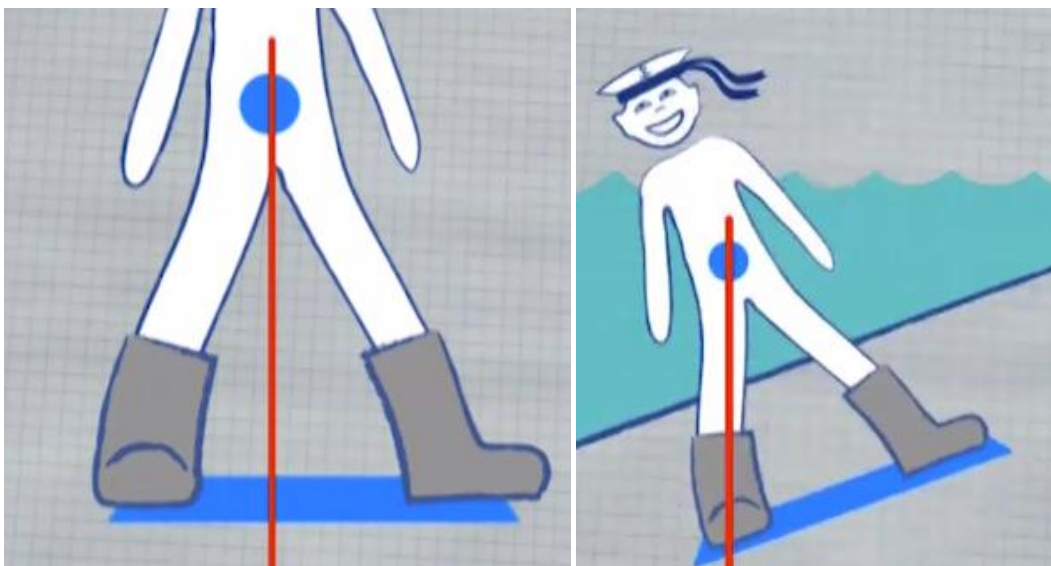
Де: m_i - маса окремого сегмента;

m - маса тіла;

X_i , Y_i - координати центра маси сегмента.

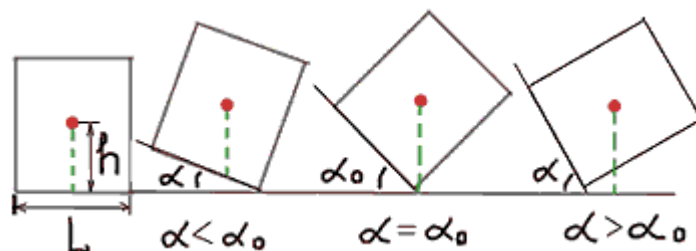
Визначивши координати центра маси тіла, можна розрахувати стійкість тіла. **Стійкість тіла** визначається кутом, утвореним відрізками, проведеними із загального центра маси тіла до країв опори. Чим більше площа опори і чим нижче розташований центр ваги тіла, тим більше значення кута, відповідно краща стійкість тіла.

Кількісним значенням стійкості тіла є **кут стійкості**, що утворений вертикаллю, яка опускається із центра маси тіла до краю опори. Чим більше кут, тим більша ступінь стійкості пози людини.



Граничний кут нахилу можна визначити геометрично:

$$\text{tag альфа} = L / 2h$$



Чим більше L , тим нижче розташовується центр ваги тіла (тобто менше h), і тим стійкіше тіло на опорі.

Питання для самоконтролю

1. Розкрийте сутність поняття «руховий апарат людини».
2. З яких основних елементів складається руховий апарат людини?
3. Що таке біокінематичні ланцюги?
4. Що таке геометрія мас тіла людини?
5. Поясніть, яке практичне значення має визначення особливостей біоланок людини.
6. Розкрийте сутність поняття «ступінь свободи рухів».
7. Яким чином розглядають ланки тіла людини як важелі та маятники?
8. Що називається важелем першого роду?
9. Що називається важелем другого роду?
10. Що означає геометрія мас тіла людини?
11. Якими показниками характеризують геометрію мас тіла людини?
12. Що служить мірою інертності тіла при поступальному русі?
13. Що служить мірою інертності тіла при обертальному русі?
14. Розкрити зміст поняття центр маси тіла.
15. Як визначається положення ЦМ?
16. Якими підходами користуються при оцінці маси окремих ланок та сегментів тіла людини?

Увага!

Для ПЗ №8-9 необхідно мати:

- ✓ зошит у клітку;
- ✓ лінійку;
- ✓ олівець;
- ✓ сантиметрову стрічку;
- ✓ калькулятор;
- ✓ знати власну вагу та зріст.