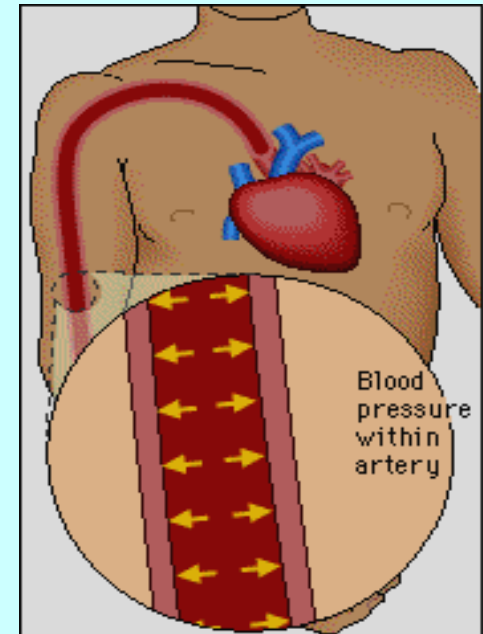
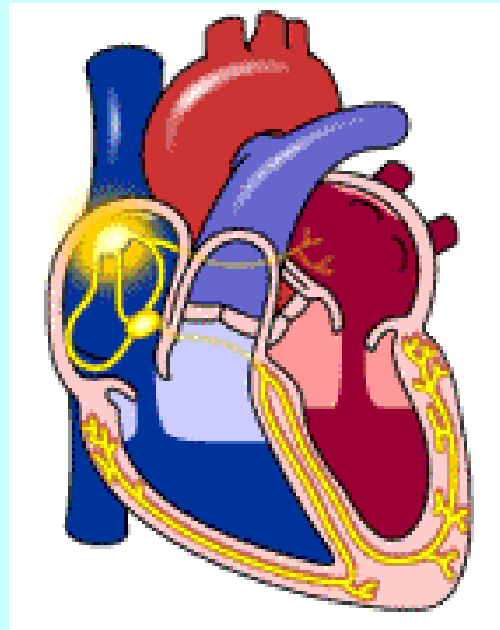
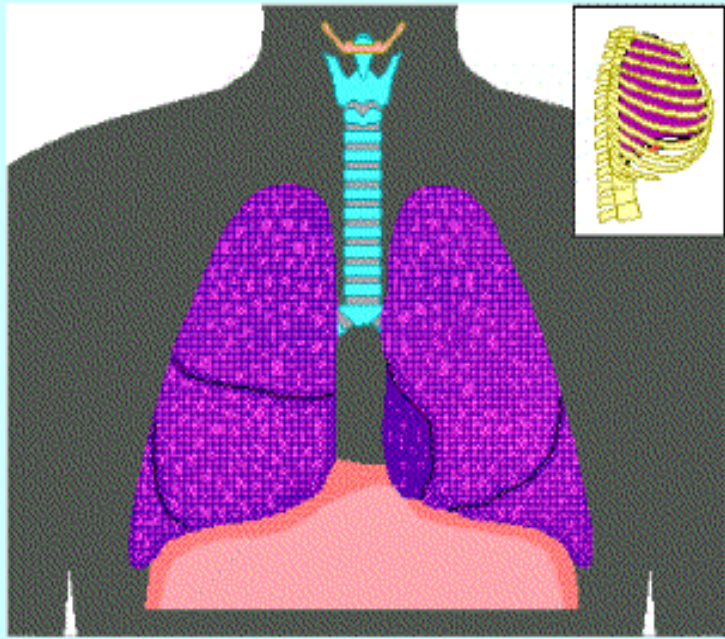


ОСНОВИ БІОМЕХАНІКИ ТА БІОАКУСТИКИ



Біомеханіка (від **біо...** і **механіка**), розділ **біофізики**, який вивчає механічні властивості біологічних тканин , органів і організму вцілому, а механічні явища, які в них проходять. Головною складовою біомеханіки є **біомеханіка опорно-рухового апарату**.

Крім того біомеханіка включає в себе: **біомеханіку дихального апарату**, предметом вивчення якого є кінематика і динаміка дихальних рухів і **біомеханіку кровообігу**, яка вивчає пружні властивості судин та серця, гідравлічний опір судин току крові, рух крові, роботу серця та ін.



ОПОРНО-РУХОВИЙ АПАРАТ

В цій лекції ми зосередимо увагу на біомеханіці опорно-рухового апарата, складовими якого є **скелет** та **скелетні м'язи**.



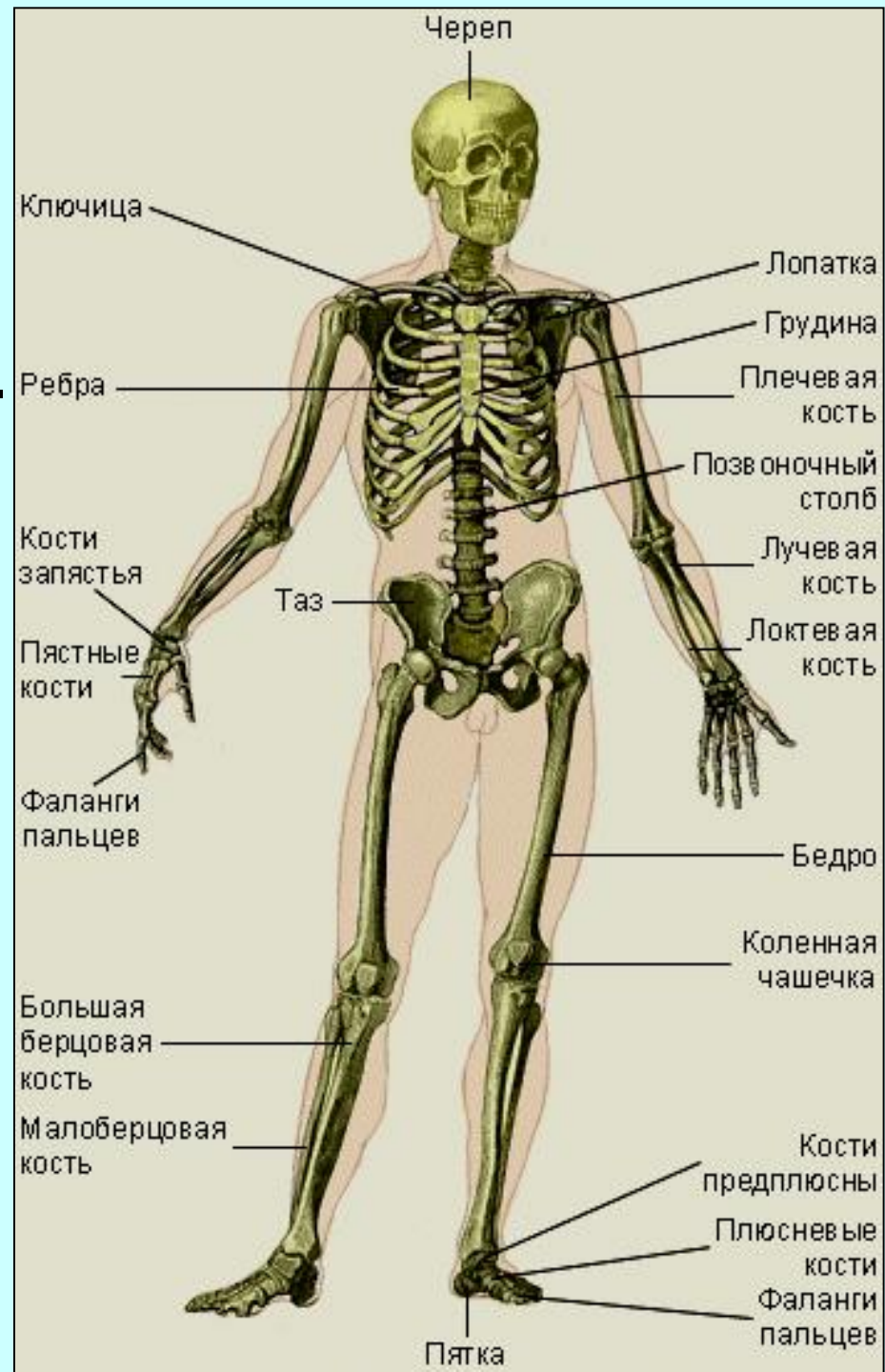
Функціонування опорно-рухового апарату забезпечується, з одного боку, механічними характеристиками його тканин (в першу чергу кістковою) та, з другого боку, силовими і енергетичними характеристиками м'язової тканини.

Скелет

- Скелет визначає конструктивну міцність системи при *статичних і динамічних навантаженнях*,
- а м'язи за рахунок основної відмінної ознаки м'язової тканини – здатності скорочуватись, і в зв'язку з цим розвивати зусилля, виконують статичну і динамічну роботу.

СКЕЛЕТ

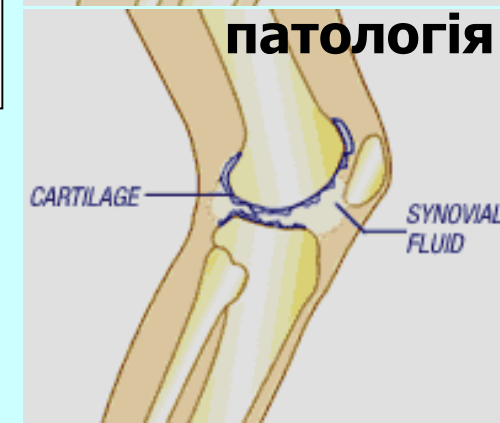
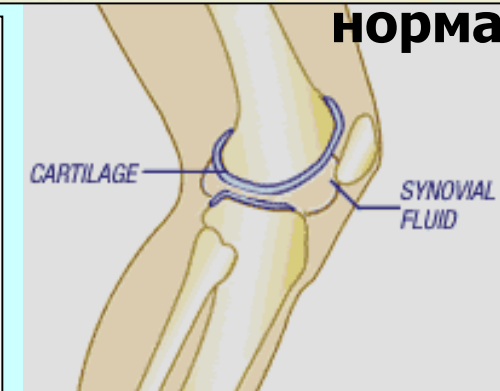
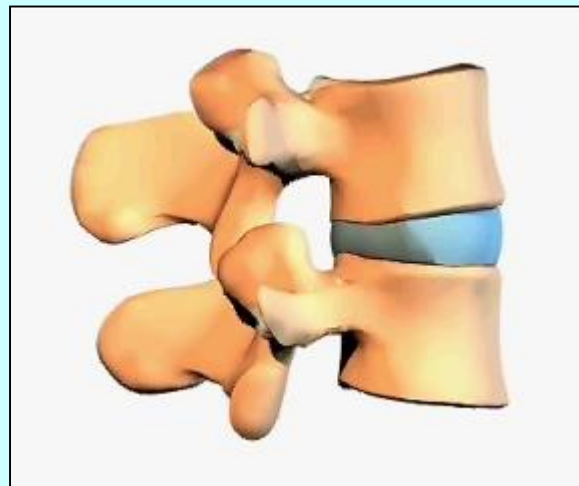
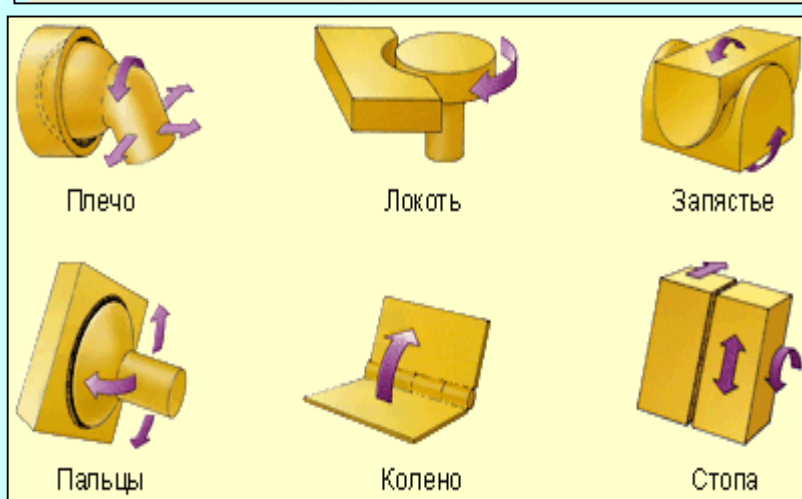
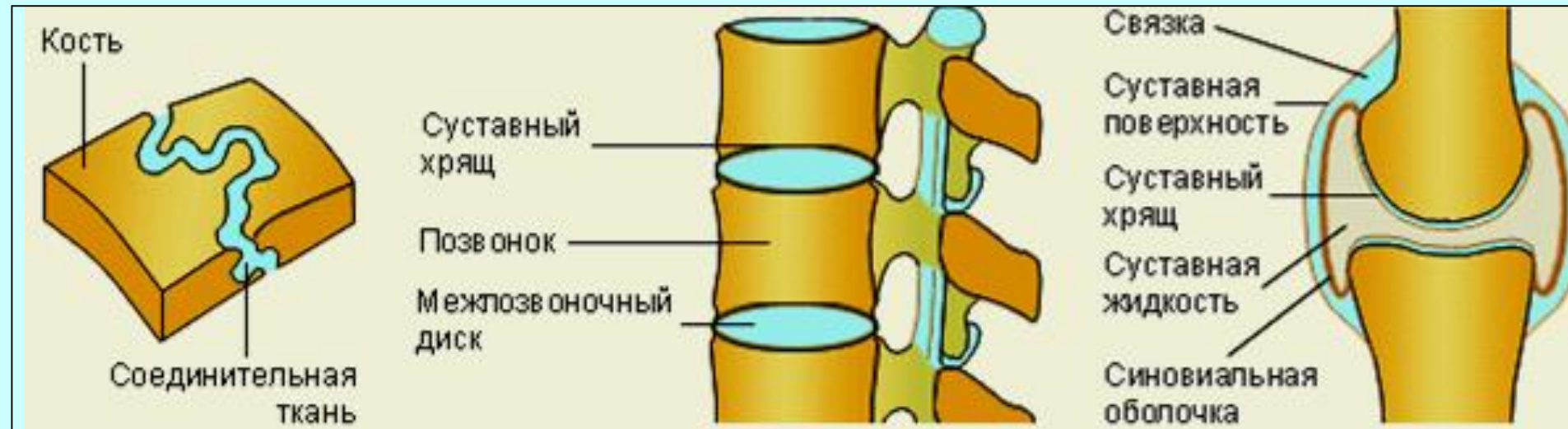
Скелет складається з більш ніж 220 кісток. З'єднання кісток в скелеті поділяються на три типи: **нерухомі, напіврухомі і рухомі**. Нерухомі з'єднання представлені кістками черепа, напіврухомі з'єднанням позвонків за допомогою хрящів та зв'язок. Нарешті, рухомо з'єднуються **суглоби**. Кожен суглоб складається з суглобових поверхонь, сумки та синовіальної рідини, яка знаходиться в суглобовій порожнині. Синовіальна рідина зменшує тертя при русі. Суглоби скріплені зв'язками, які обмежують амплітуду їх рухів.



Нерухомі з'єднання

Напіврухомі з'єднання

Рухомі з'єднання

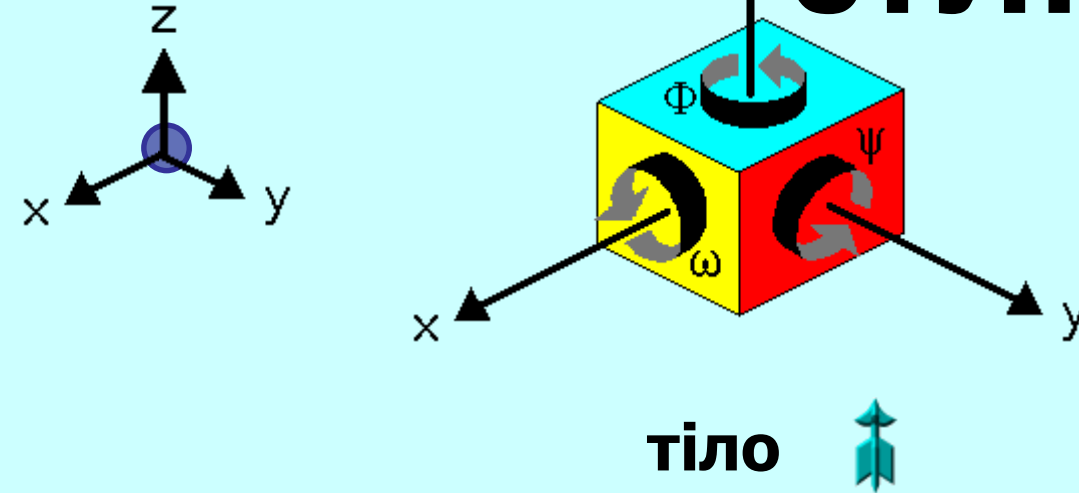


Тип руху в суглобі визначається кількістю **ступенів вільності**, поняття про які буде сформульовано на наступному слайді.

**матеріальна
точка**



СТУПЕНІ ВІЛЬНОСТІ



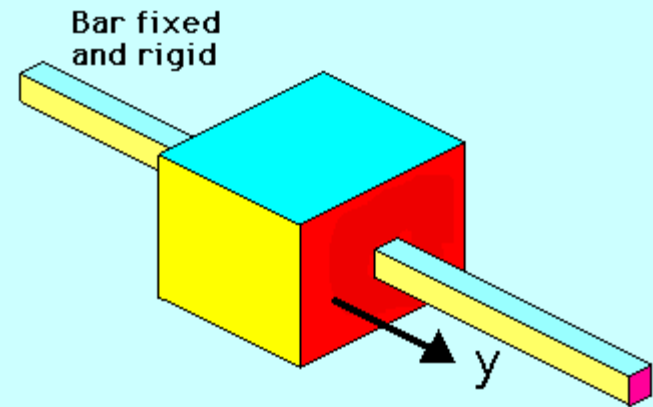
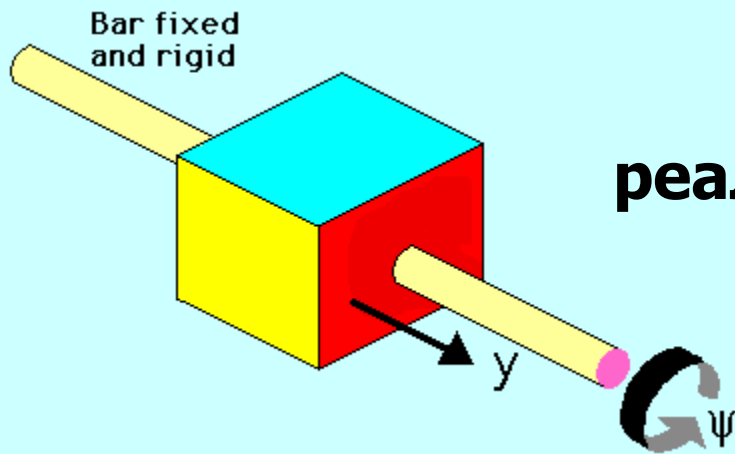
тіло



Кількість ступенів вільності – це кількість можливих незалежних рухів тіла або конструкції.

Матеріальна точка має **три поступальні ступені вільності** – вздовж осей **X**, **Y** і **Z**.

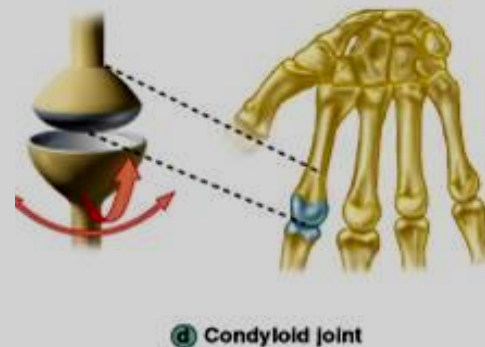
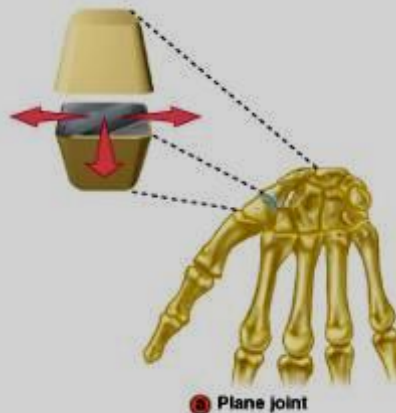
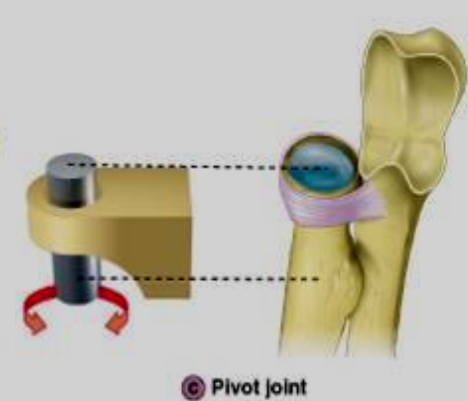
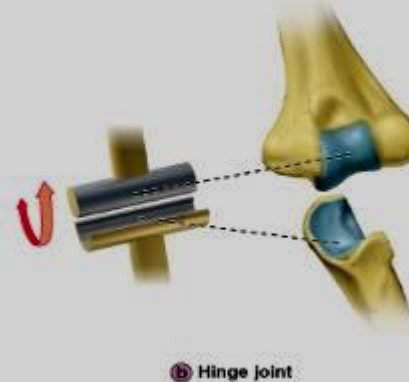
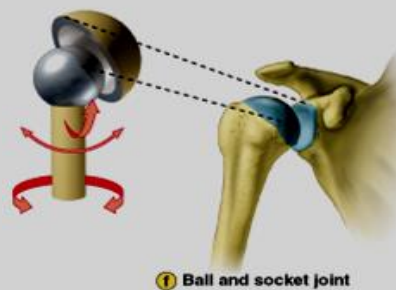
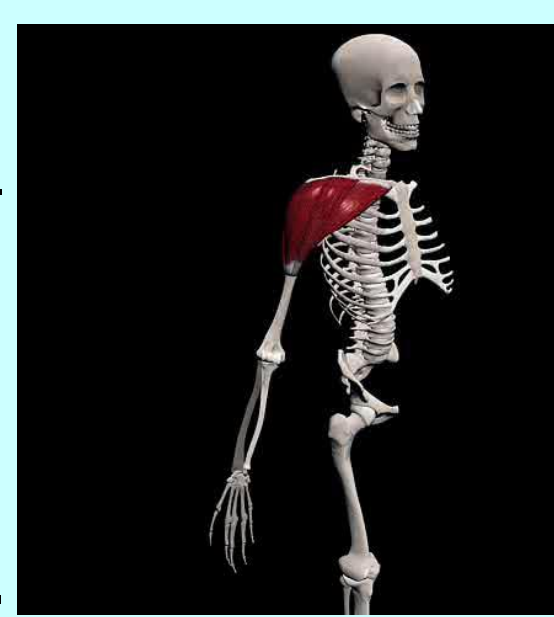
Тіло має **три поступальні ступені вільності** – вздовж осей **X**, **Y** і **Z**, а також **три обертальні ступені вільності** навколо тих же осей, тобто всього **шість ступеней вільності**.



- Кількість ступенів вільності **реального тіла** може бути обмежена конструктивно, що визначає тип руху тіла.
- В конструкції, так звані **кінематичні ланцюги** можуть мати скільки завгодно велику кількість ступеней вільності.

СТУПЕНІ ВІЛЬНОСТІ РУКИ

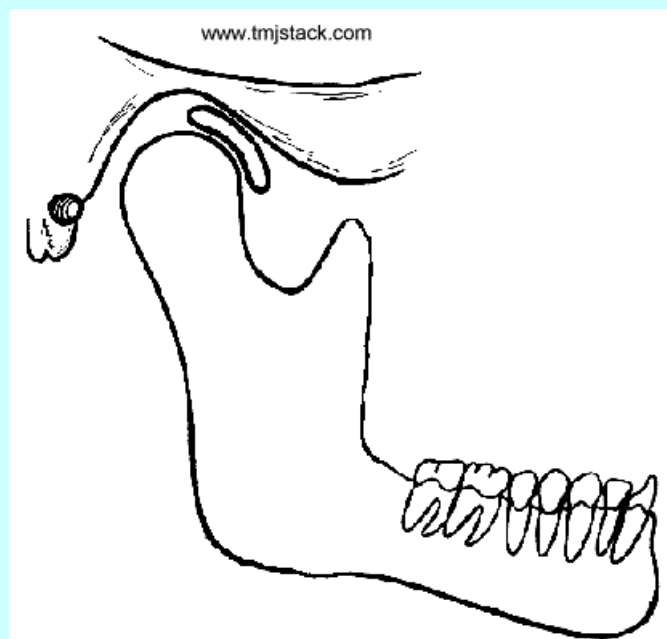
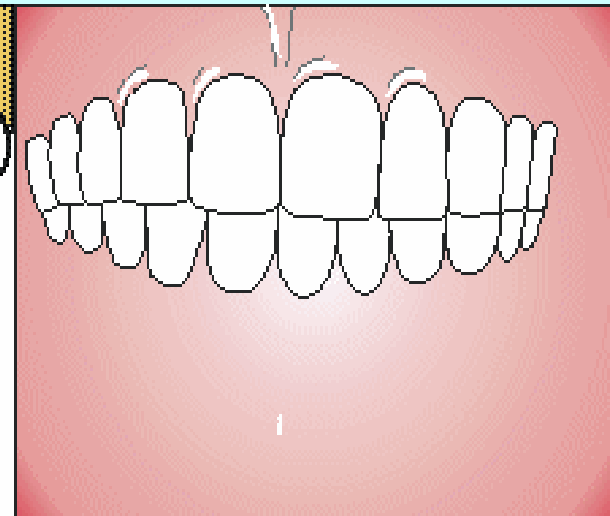
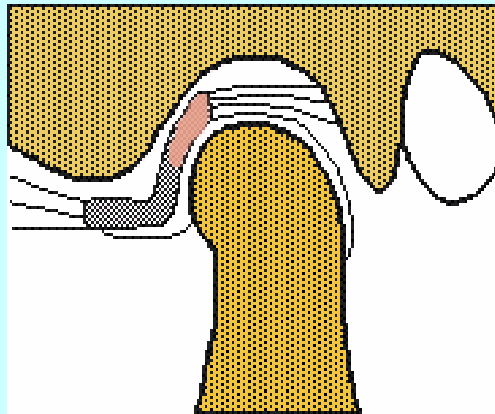
Рука людини, як кінематичний ланцюг, починаючи з ключично-лопаточного з'єднання, має **33 ступені вільності**, що забезпечує можливість надзвичайно різноманітних рухів і обертань.



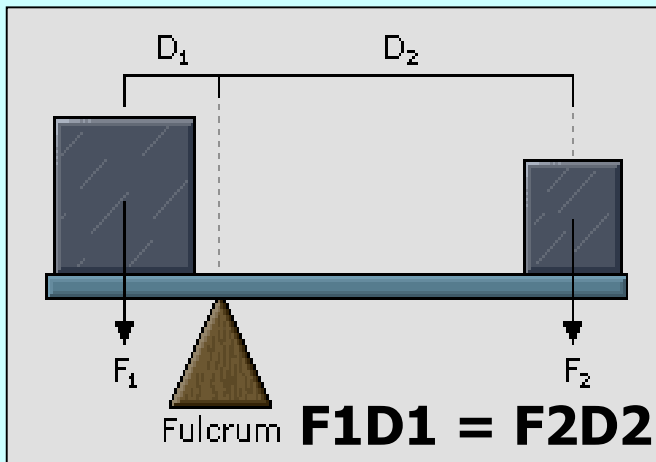
БІОМЕХАНІКА ЗУБОЩЕЛЕПНОЇ СИСТЕМИ



БІОМЕХАНІКА СКРОМЕНЕВО - ЩЕЛЕПНОГО СУГЛОБА



ТРИ ТИПИ ВАЖЕЛІВ

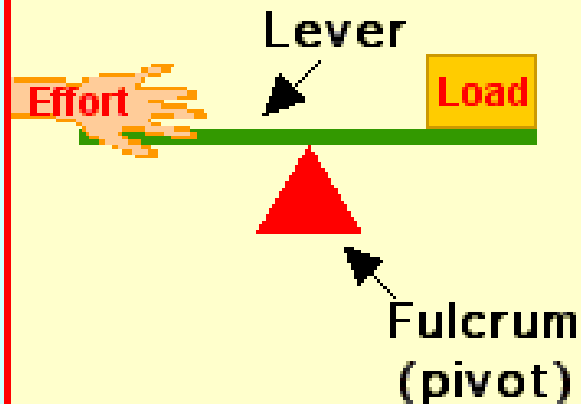


важіль **РІВНОВАГИ**

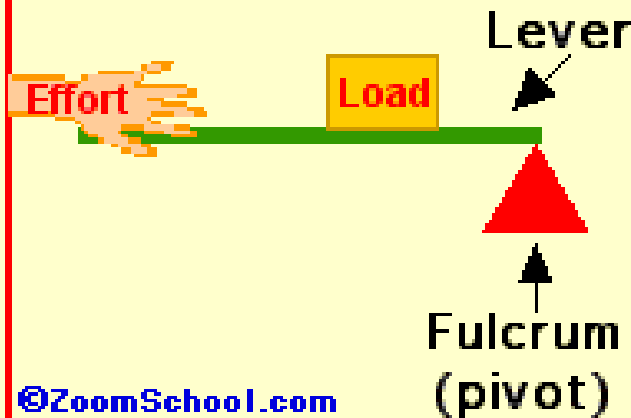
важіль **СИЛИ**

важіль **ШВИДКОСТІ**

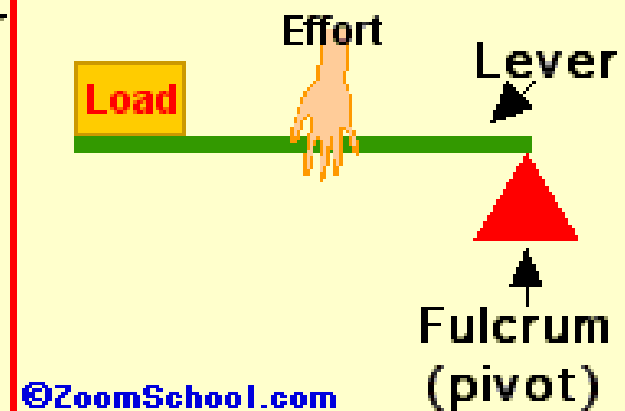
First Class Lever



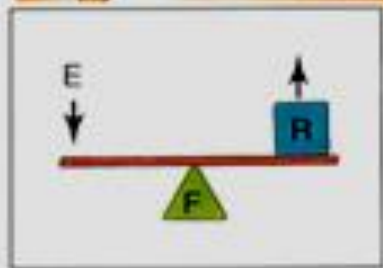
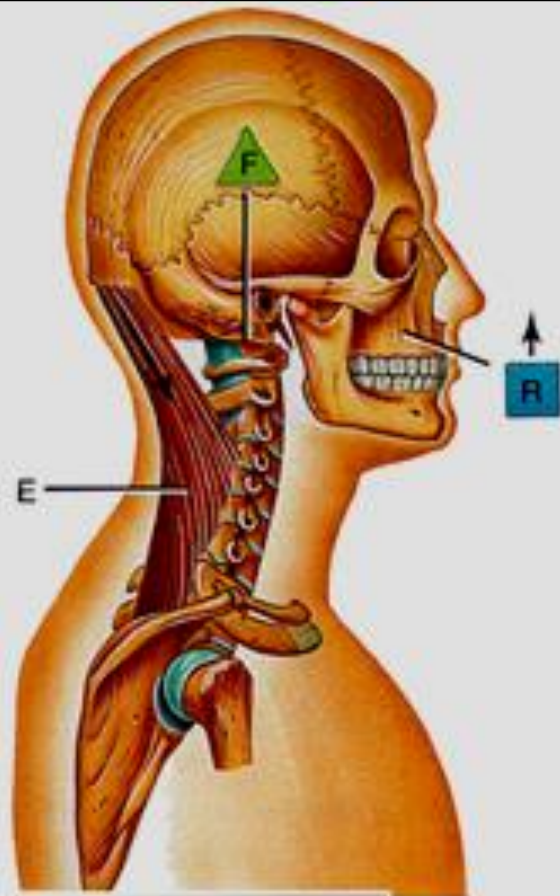
Second Class Lever



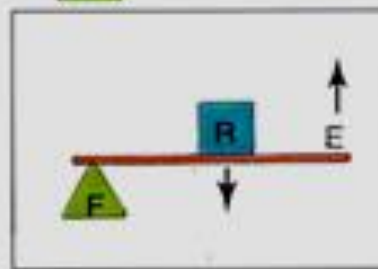
Third Class Lever



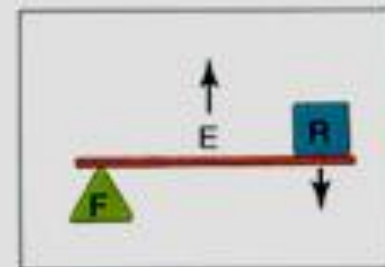
ВАЖЕЛІ В ОРГАНІЗМІ



(a) First-class lever



(b) Second-class lever

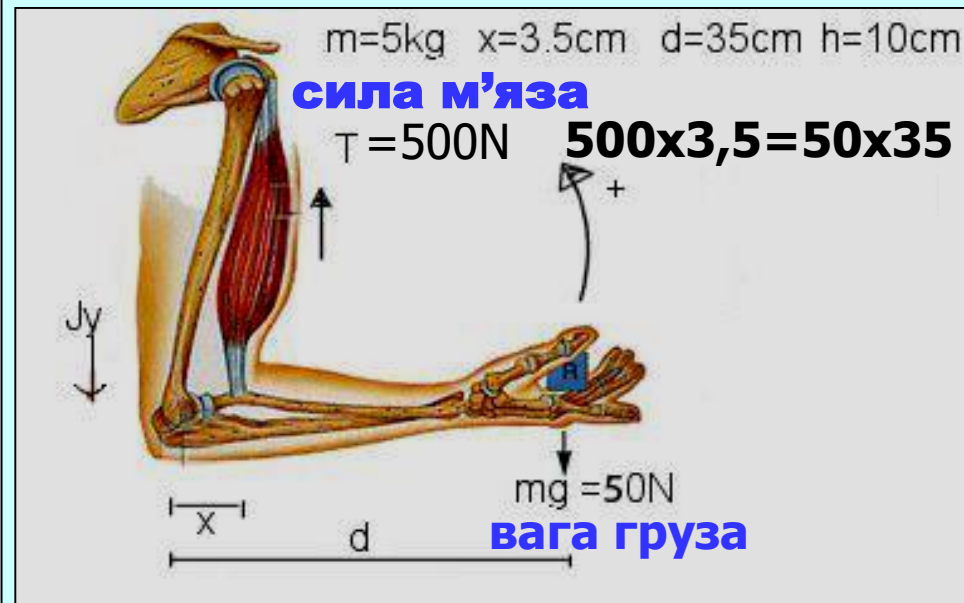
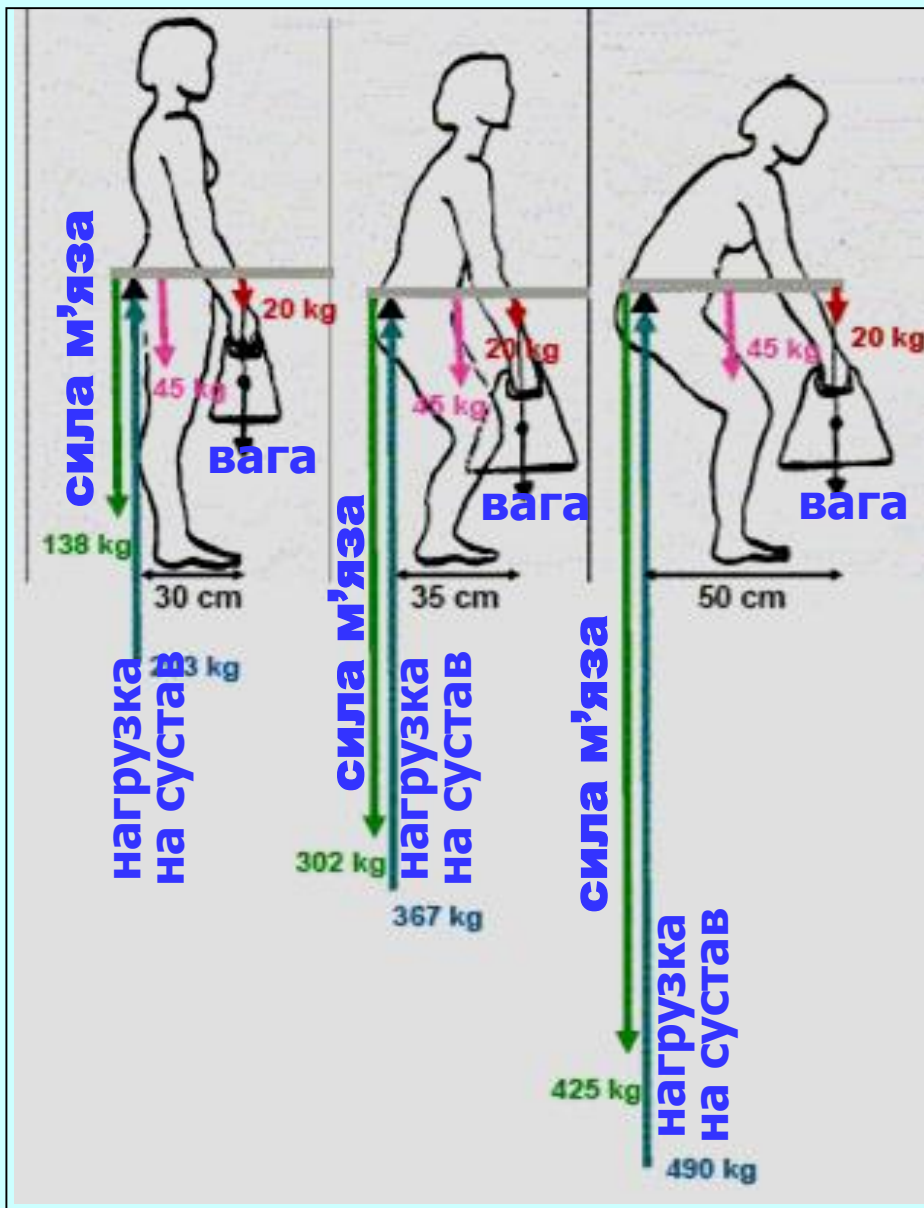


(c) Third-class lever

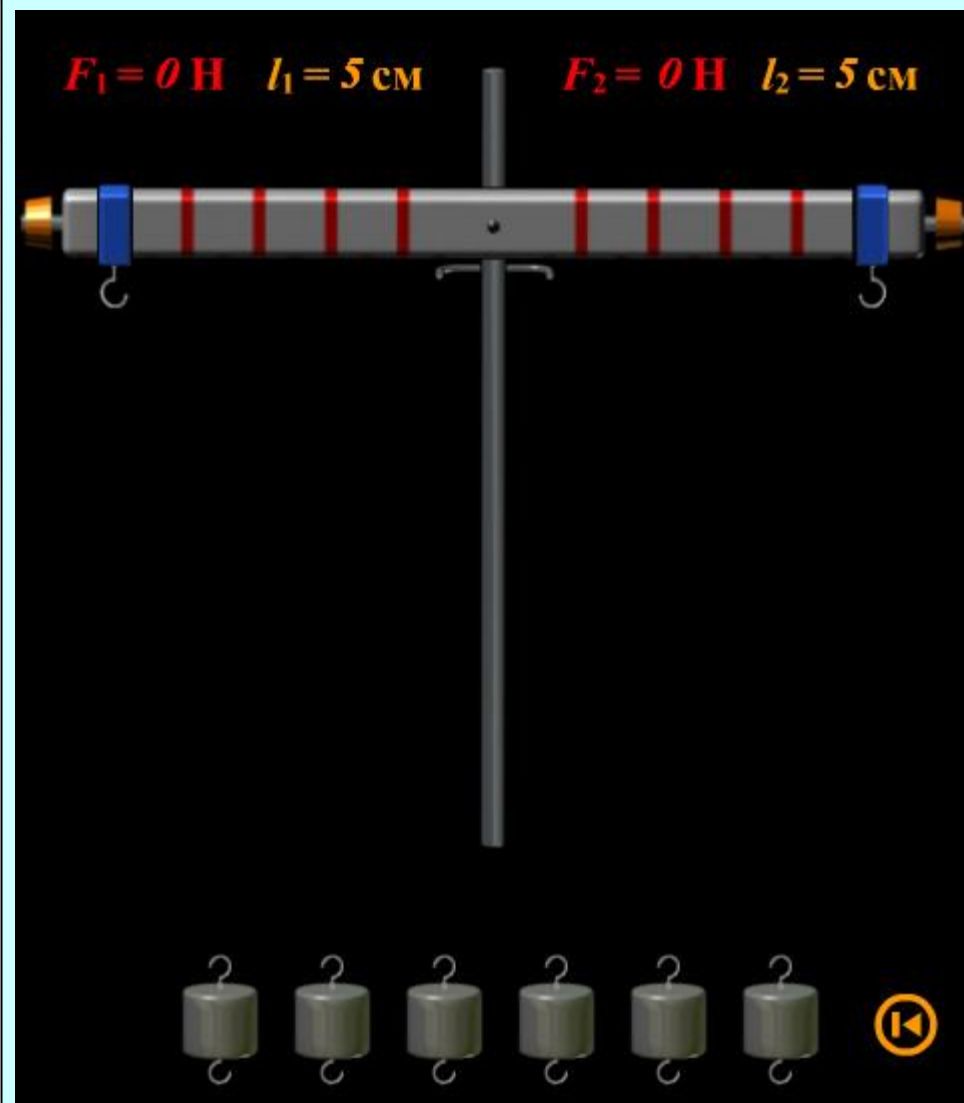
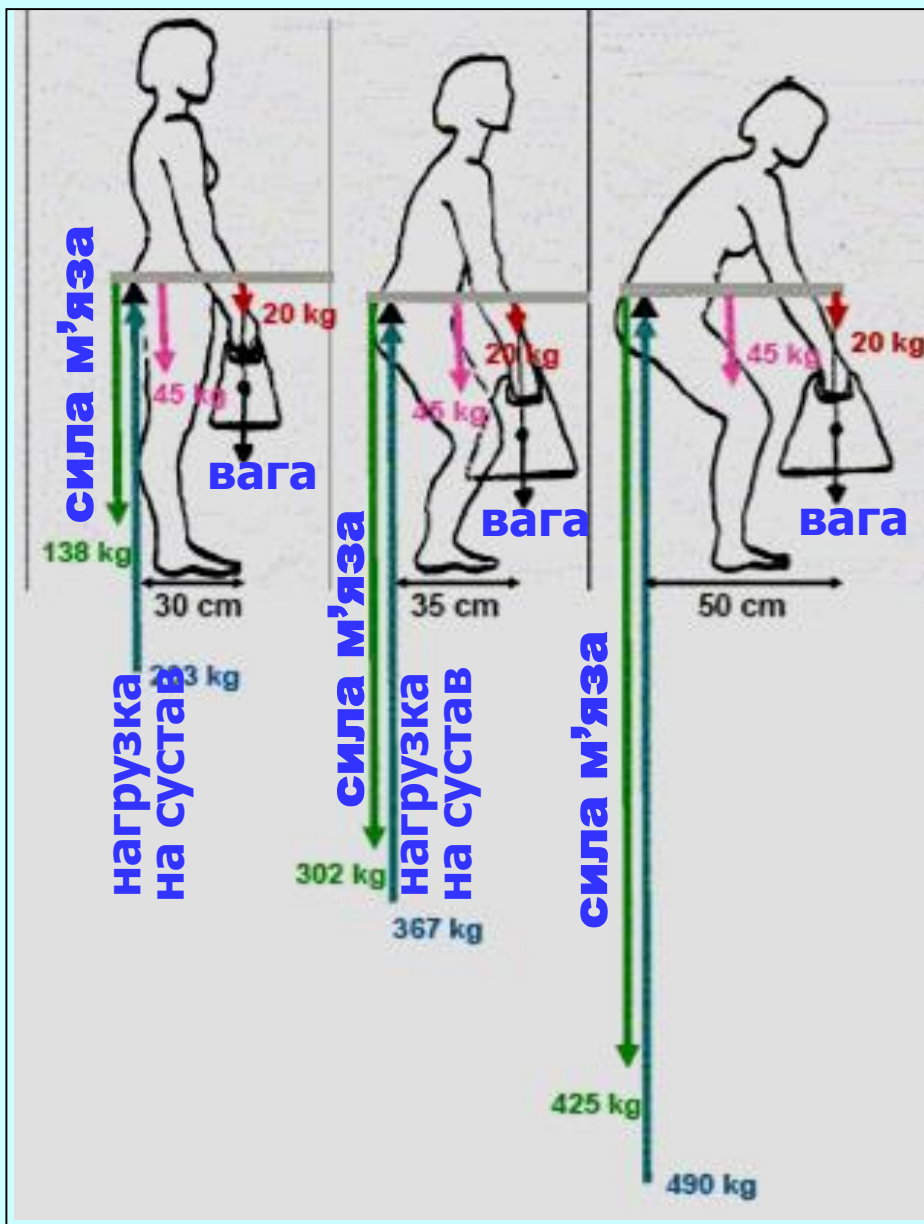
З механічної точки зору скелет це важільно-шарнірна система, яка утримується в рівновазі і приводиться до руху скелетними м'язами.

ПРАВИЛО ВАЖЕЛЯ – важель знаходиться в рівновазі, якщо алгебраїчна сума моментів сил (добуток сили на її плече) дорівнює нулю. Наслідок: величина сили обернено пропорційна довжині плеча.

Правило важеля грає важливу роль при аналізі сил, які розвивають м'язи, і розгляду рівноваги, як окремих складових опорно-рухового апарату, так і всієї системи в цілому.



ПРАВИЛО ВАЖЕЛЯ – важіль знаходиться в рівновазі, якщо алгебраїчна сума моментів сил (добуток сили на його плече) дорівнює нулю. Висновок: величина сили обернено пропорційна довжині плеча.

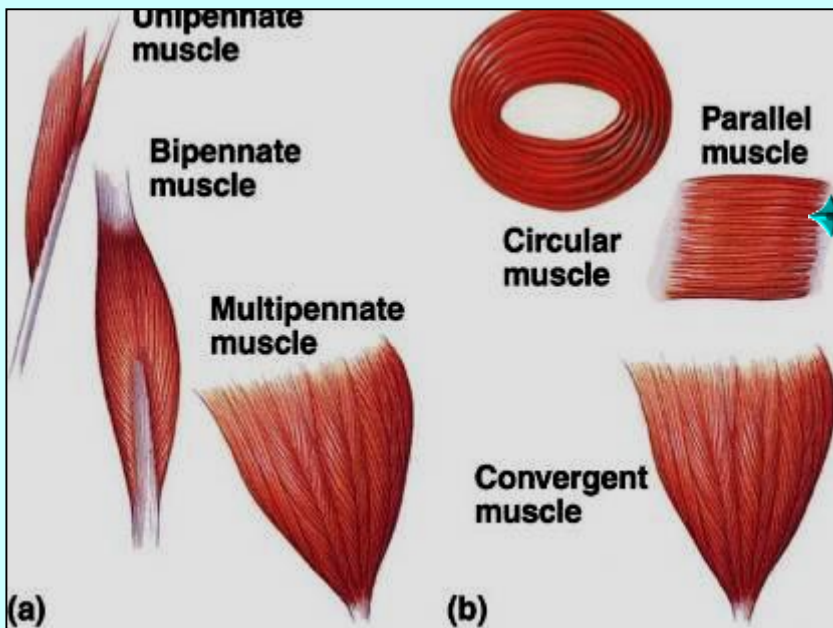




СКЕЛЕТНІ М'ЯЗИ

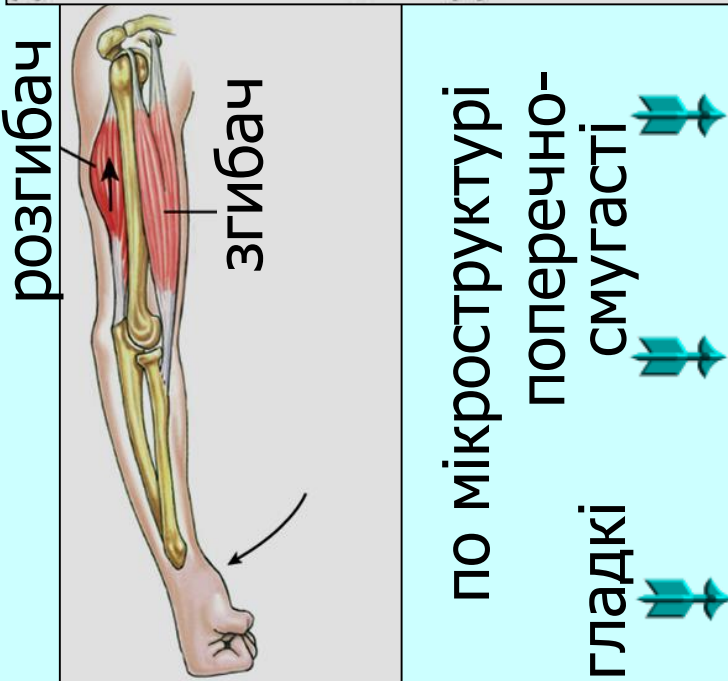
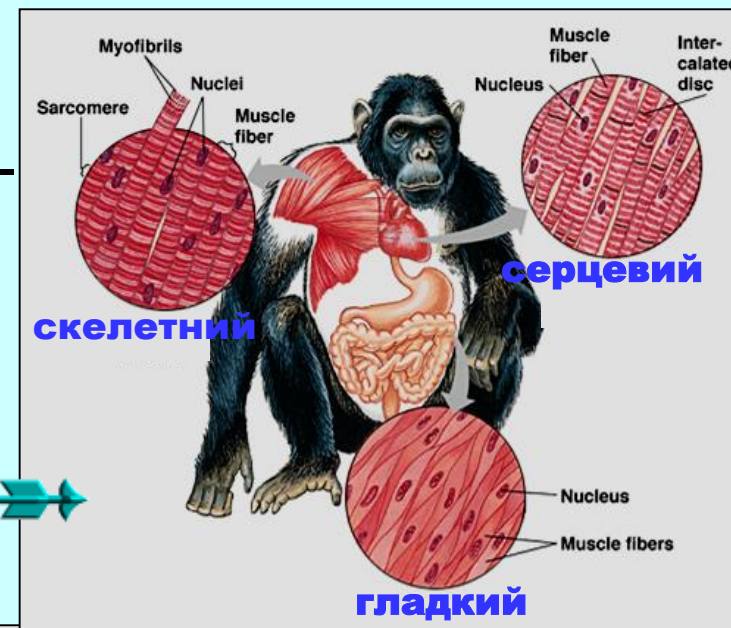


КЛАСИФІКАЦІЯ М'ЯЗІВ

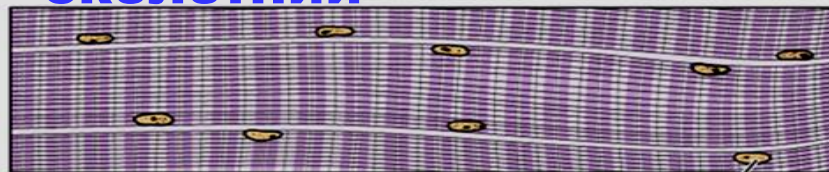


по макро-структурі

по типу



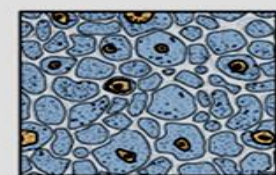
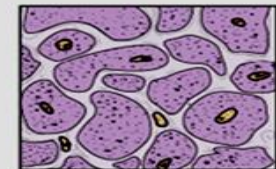
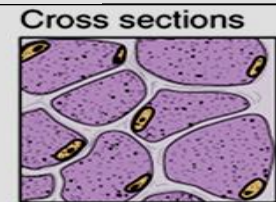
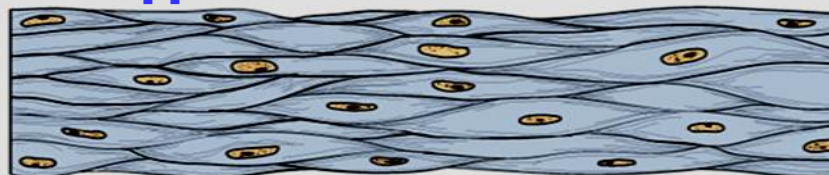
скелетний



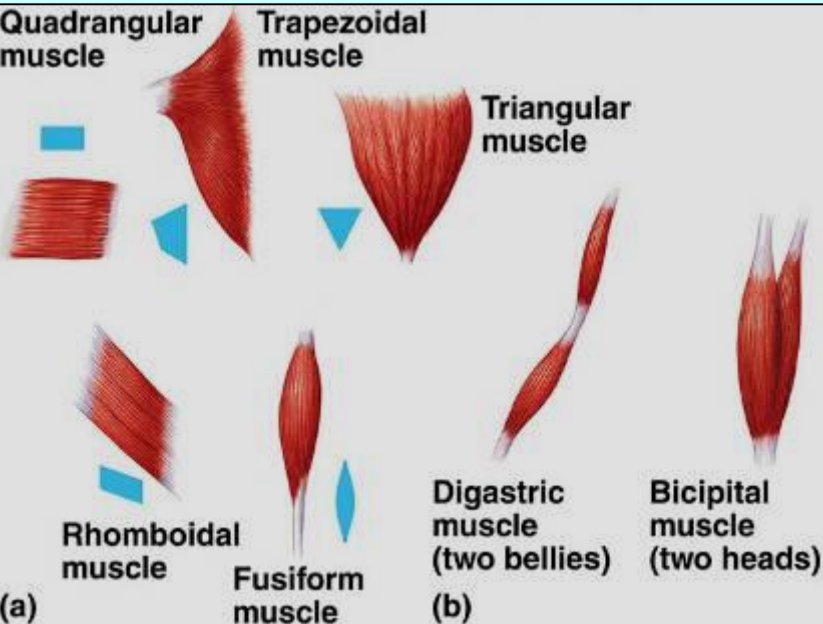
серцевий



гладкий

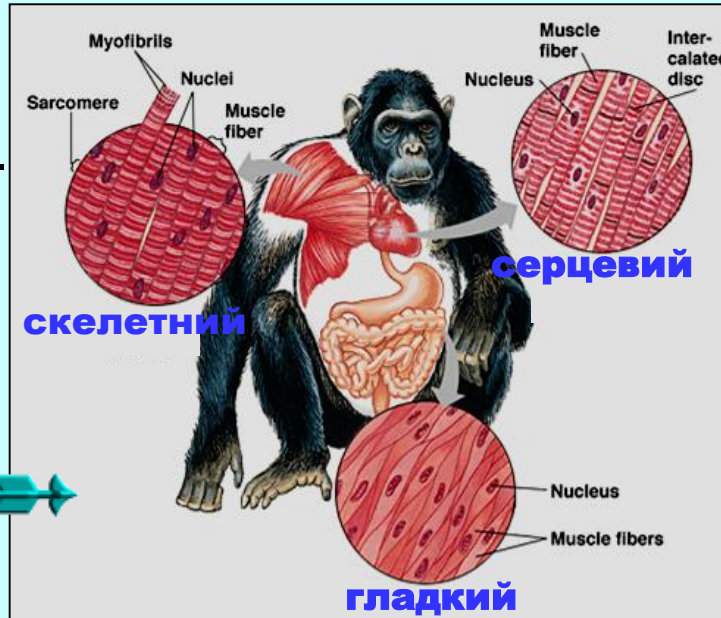


КЛАСИФІКАЦІЯ М'ЯЗІВ



по макро-структурі

по типу



розгибач

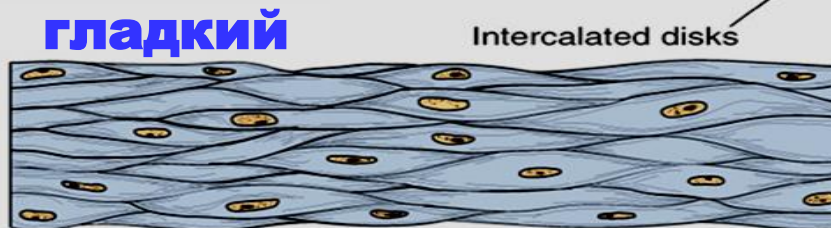
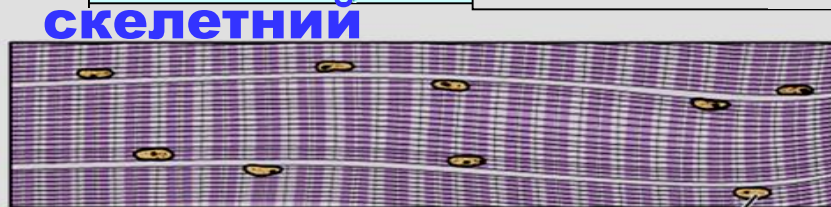
згибач



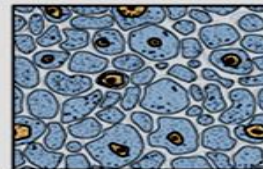
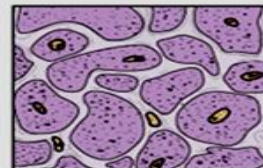
по мікроструктурі

поперечно-смугасті

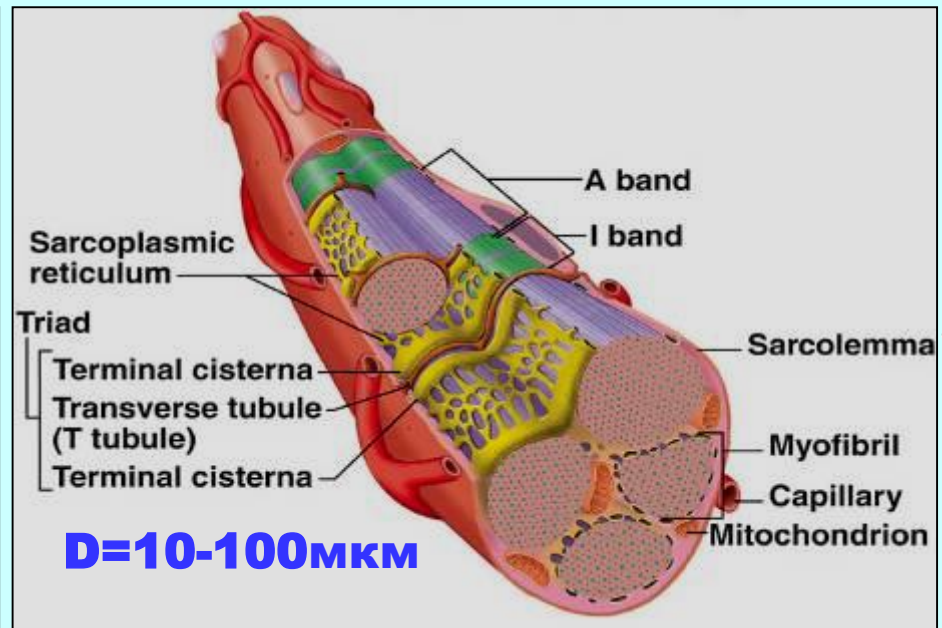
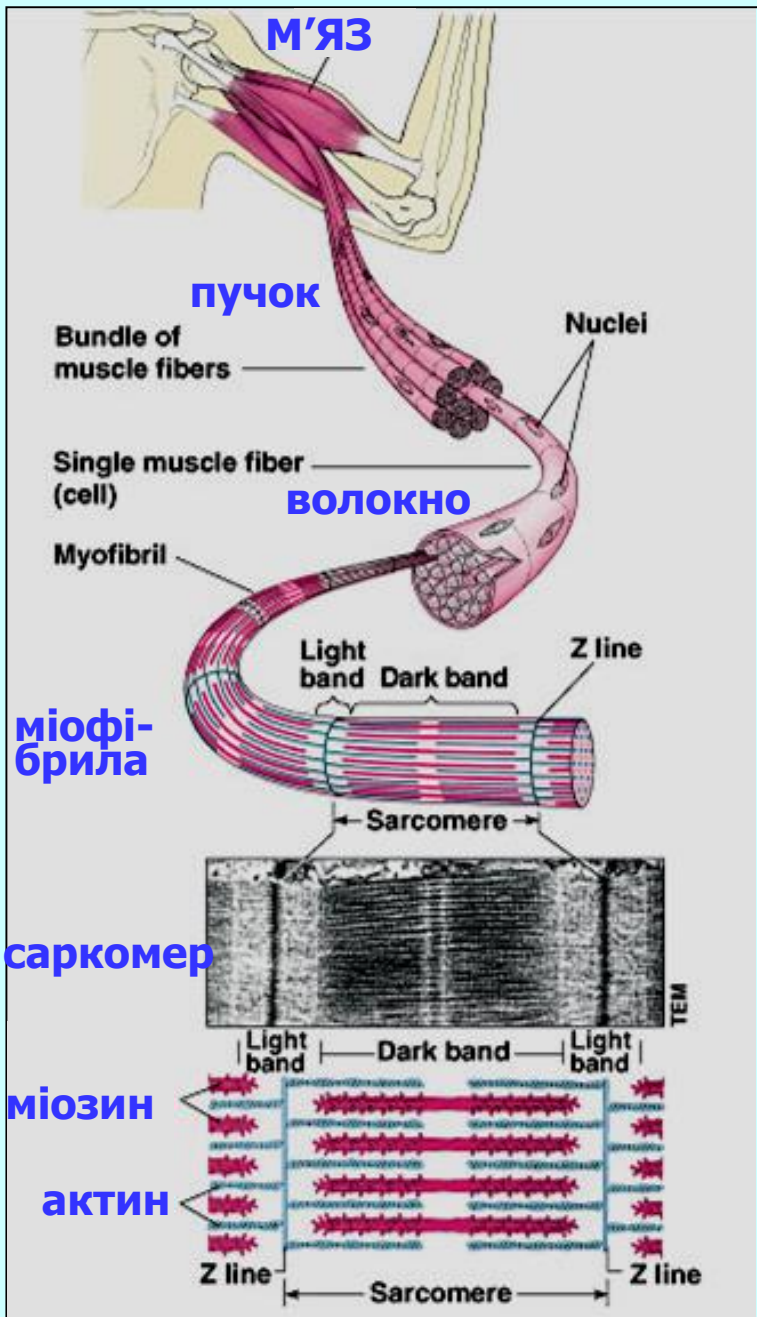
гладкі



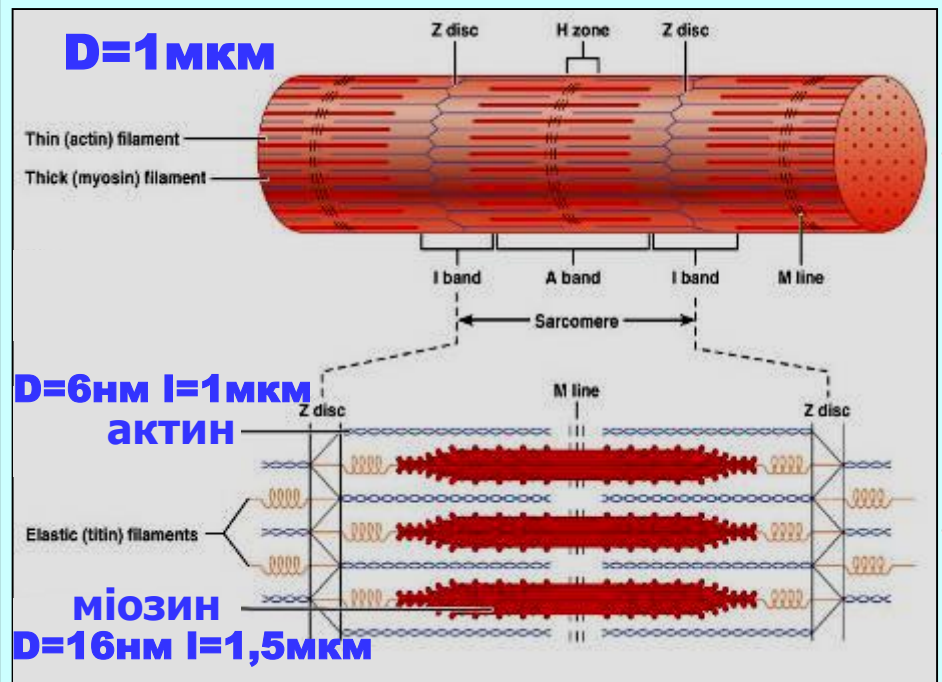
Cross sections



СТРУКТУРА СКЕЛЕТНОГО М'ЯЗА



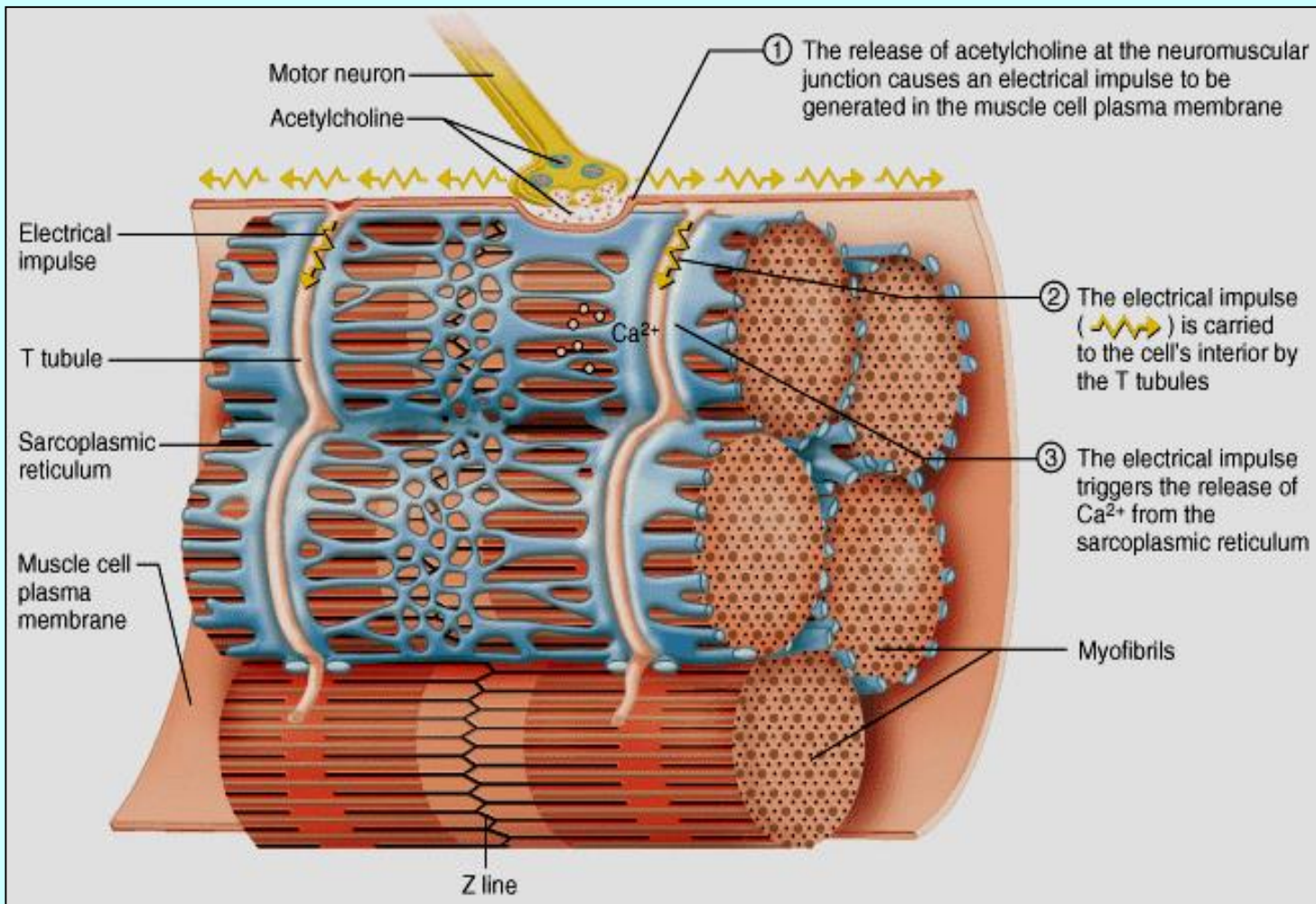
↔ **волокно**



↔ **міофібрила**

↔ **саркомер**

САРКОПЛАЗМАТИЧНИЙ РЕТИКУЛУМ

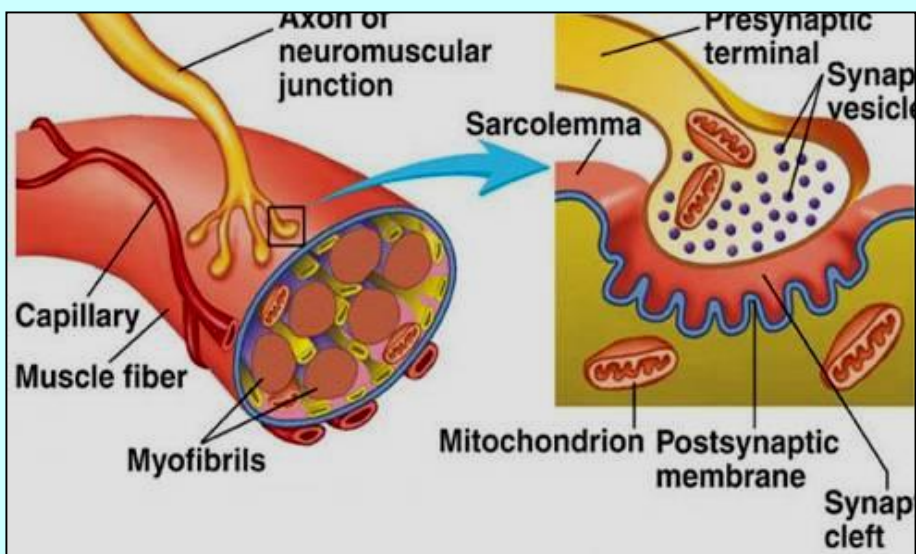
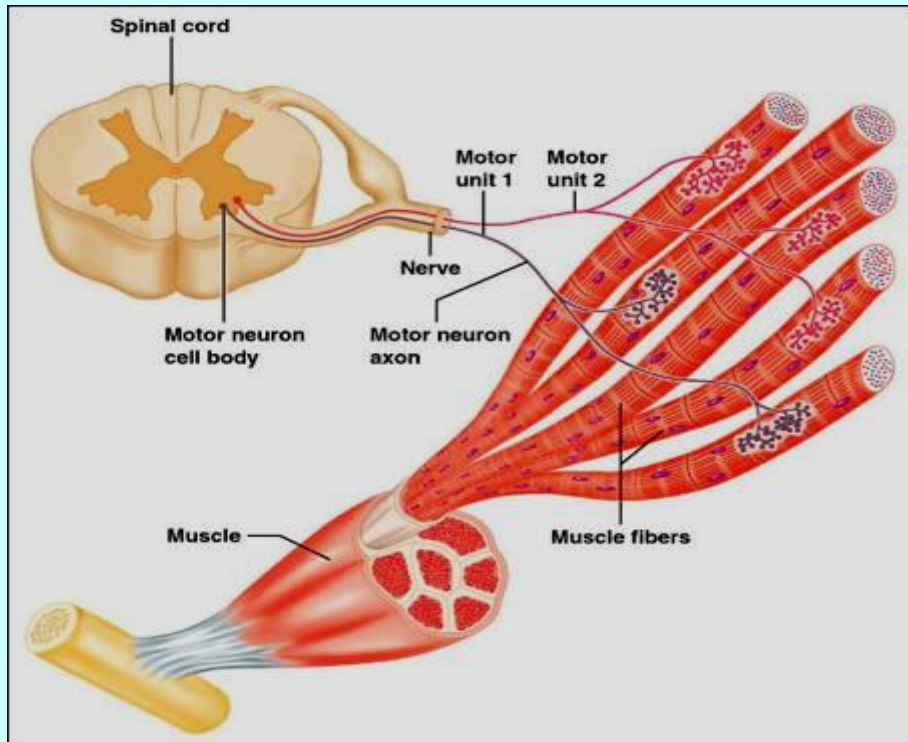


це глибока сітка внутрішньоклітинних каналців. Поперечні трубочки виконують функцію проведення збудження до мембрани саркоплазматичного ретикулума.

Продольні трубочки, з одного боку, виконують функцію депонування йонів **Ca²⁺** і, з іншого боку, по цій сітці йони **Ca²⁺** можуть переміщуватись безпосередньо до всіх актинових і міозинових волокон.

ІНЕРВАЦІЯ М'ЯЗІВ

Інервація скелетних м'язів здійснюється спинним мозком через **нейром'язові синапси**, які підведені до кожного волокна м'язів.



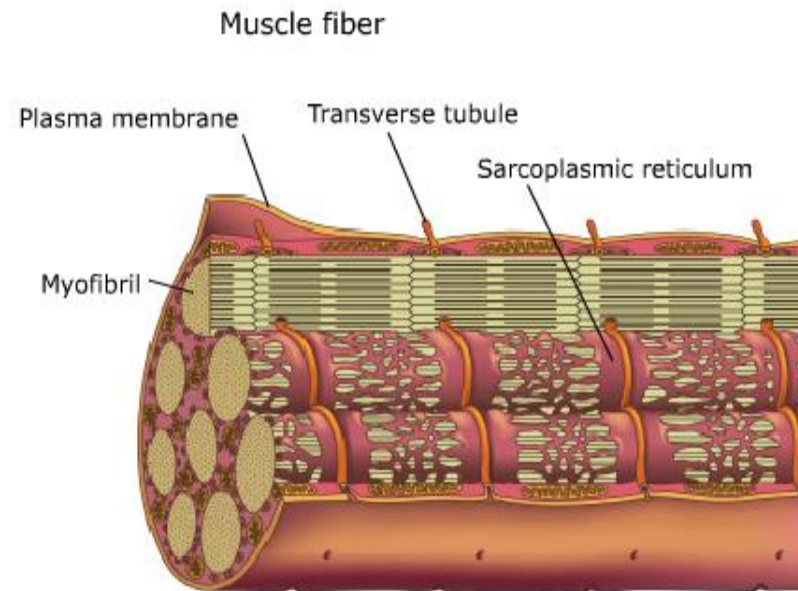
Function of the Neuromuscular Junction



An action potential arrives at the presynaptic terminal causing voltage-gated calcium ion channels to open, increasing the calcium ion permeability of the presynaptic terminal cell membrane.

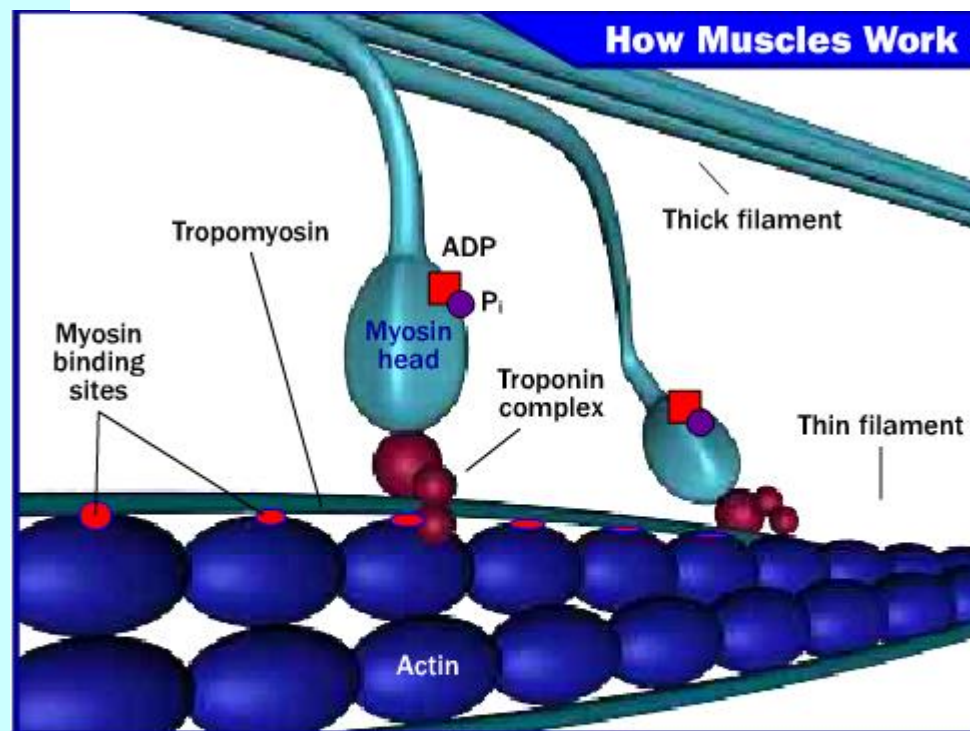
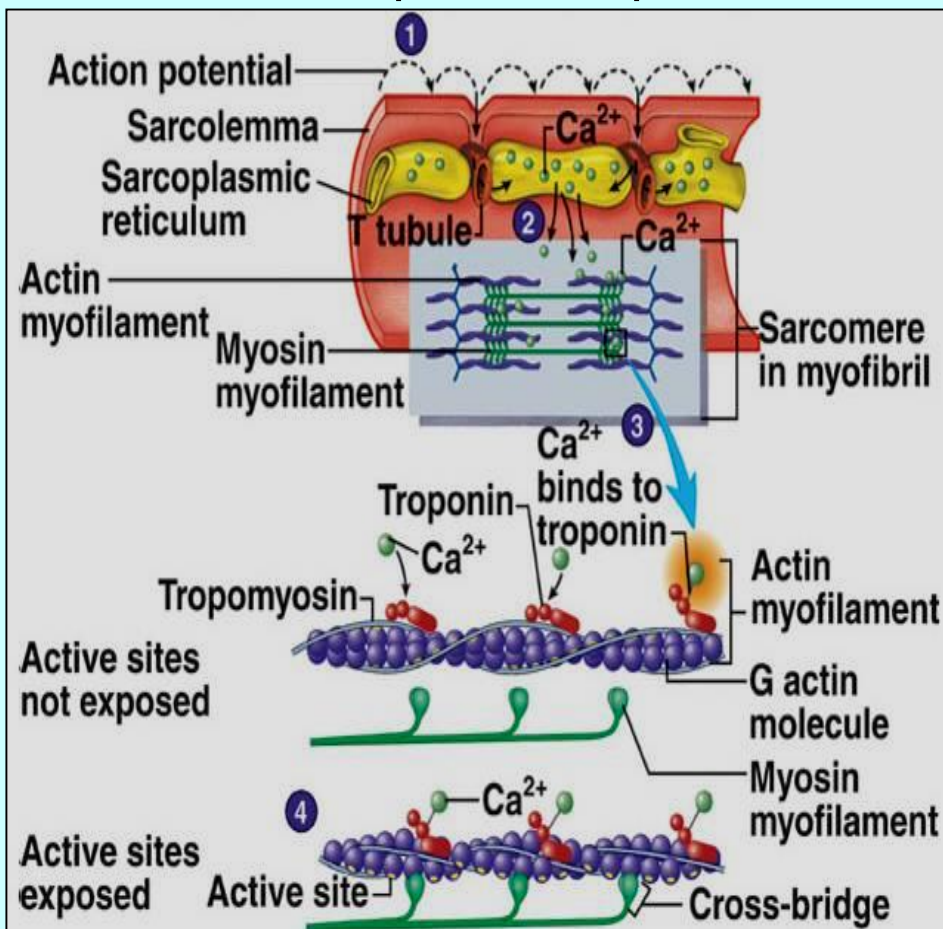
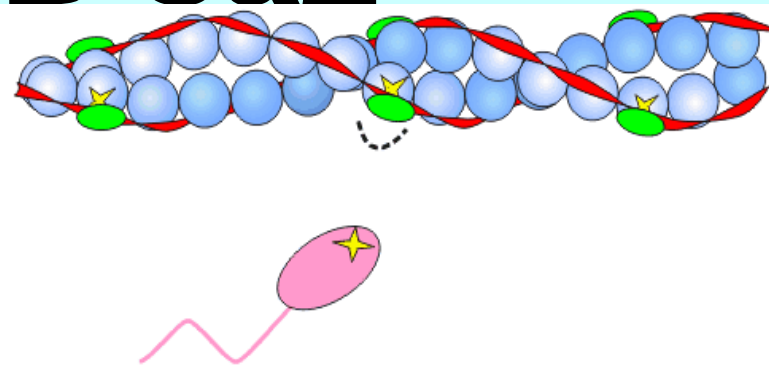
МЕХАНІЗМ СКОРОЧЕННЯ

В результаті спрацьовування нейром'язового синапса генерується збудження (**потенціал дії**), яке розповсюджується по мембрані міофібрили і за рахунок системи поперечних трубок досягає саркоплазматичного ретикулума. Деполяризація мембрани саркоплазматичного ретикулума приводить до відкриття в ній **Ca²⁺**-каналів, через які в саркоплазму виходять йони **Ca²⁺**. Підвищення концентрації **Ca²⁺** в середині клітини є сигналом для початку м'язового скорочення.



РОЛЬ ІОНІВ Ca^{2+}

Іони Ca^{2+} зв'язуються з білком тропоніном. Тропонін змінює свою конформацію і зміщує молекули білка тропоміозина, які блокували центри зв'язування актина. До розблокованих центрів зв'язування приєднуються головки міозина, і починається процес скорочення.



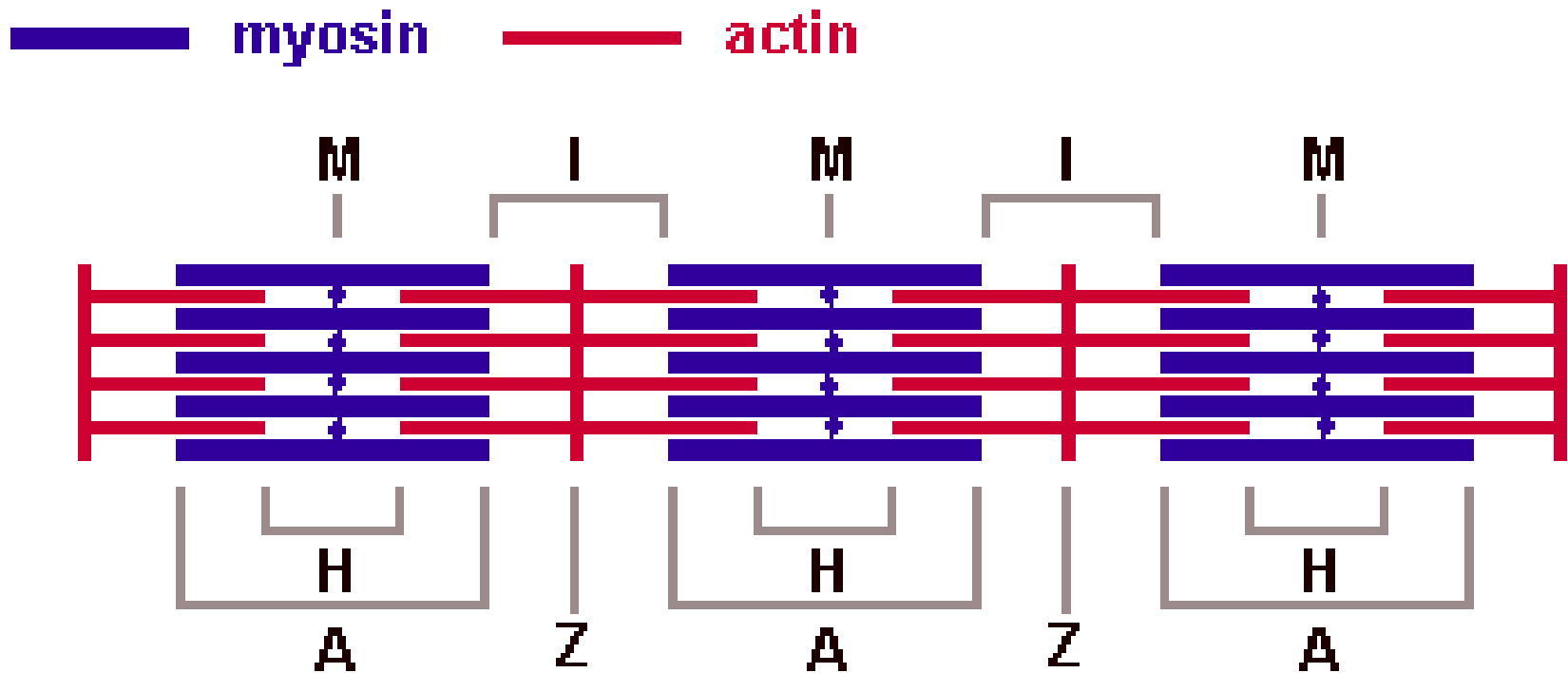
The introduction of Calcium causes the Troponin complex and the Tropomyosin to shift, thereby, exposing the Myosin binding sites to the Myosin heads.



СКОРОЧЕННЯ САРКОМЕРА

Саркомер – структурно-скорочувальна одиниця міофібрили.

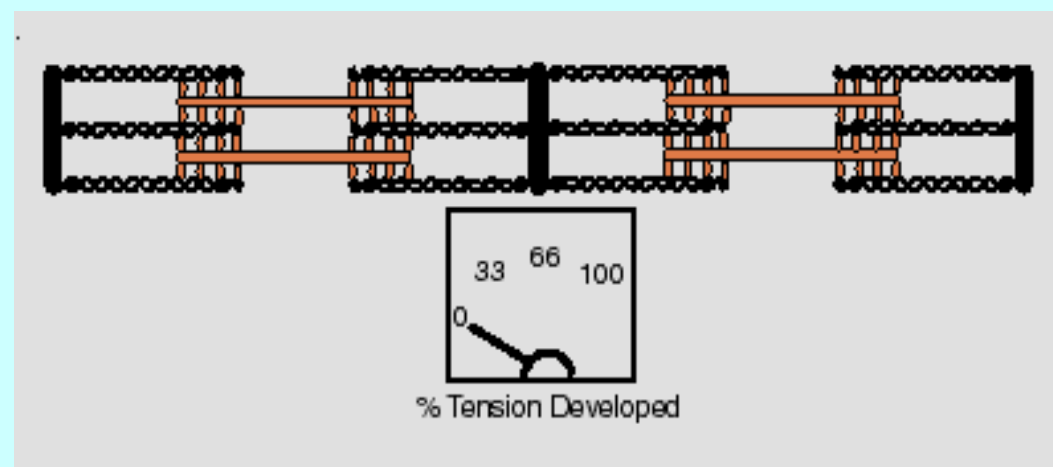
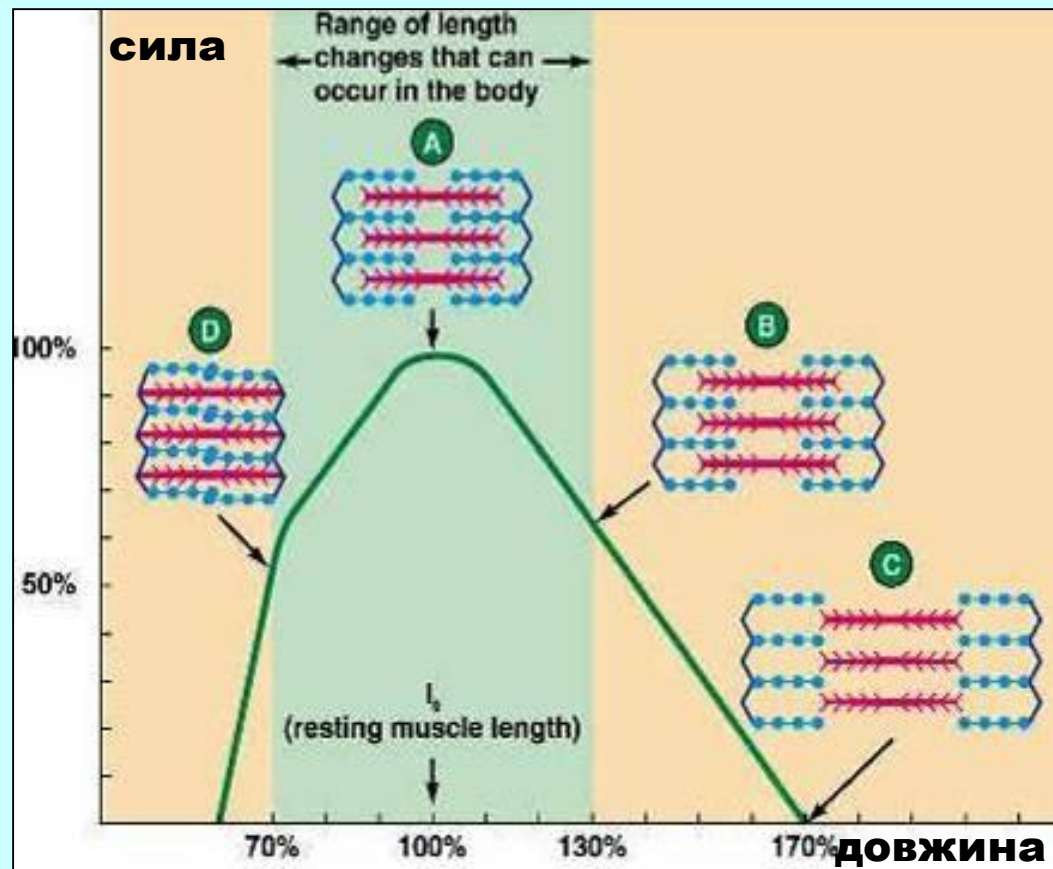
При скороченні саркомера довжина актинових і міозинових волокон не змінюється, а відбувається ковзання одного волокна відносно іншого, за рахунок чого збільшується їх перекриття і зменшуються проміжки між ними.



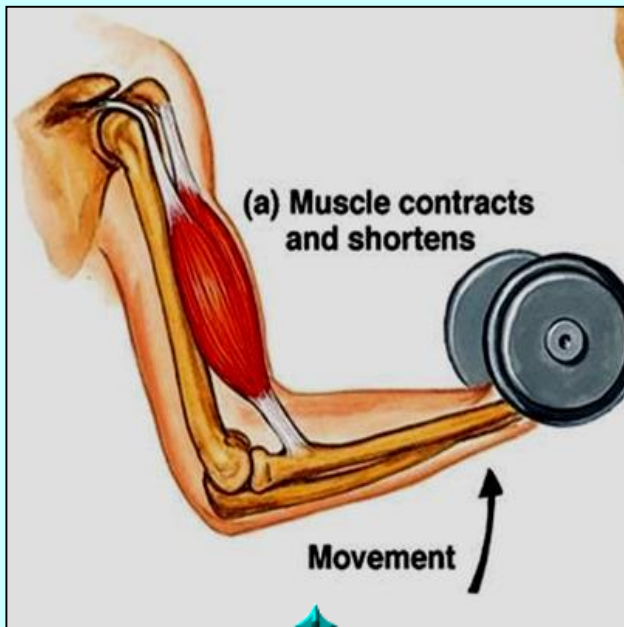
Bands and lines in the contractile apparatus of skeletal muscle

СПІВВІДНОШЕННЯ СИЛИ І ДОВЖИНИ САРКОМЕРА

Величина сили, яка розвивається саркомером залежить від кількості замкнених місточків (кожен місток дає близько декількох піконьютонів сили в загальну силу, яка розвивається саркомером). Довжина ділянки перекриття актинових і міозинових волокон визначає максимальну кількість можливих місточків, що в свою чергу визначає залежність максимальної сили, яку може розвинути саркомер, від його довжини.



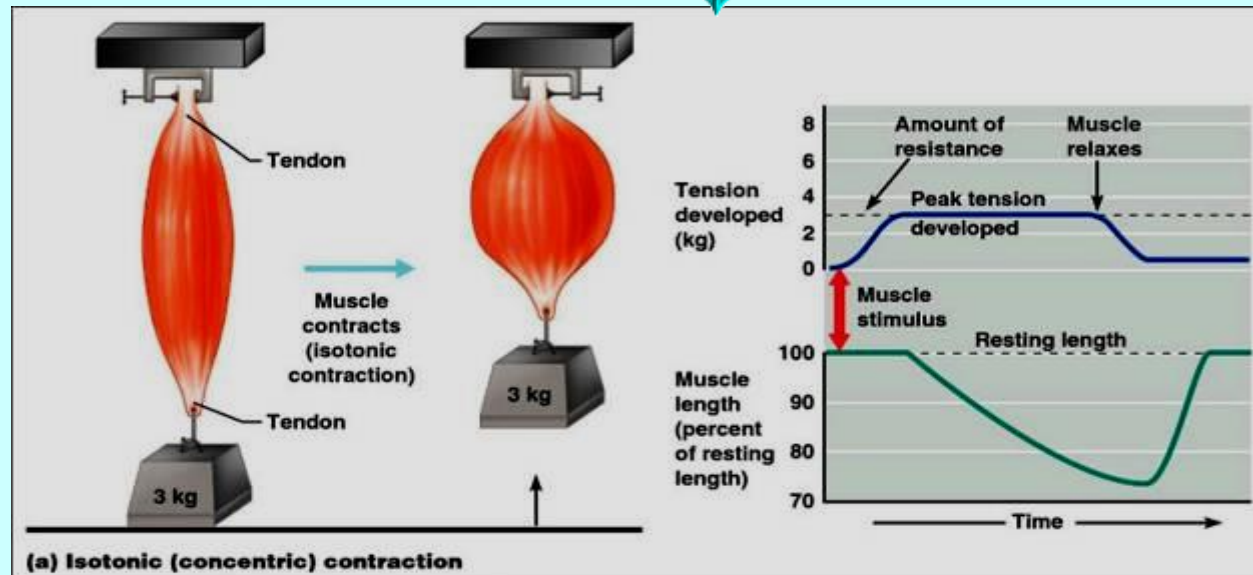
ДИНАМІЧНА РОБОТА, ІЗОТОНІЧНЕ ТА АУКСОТОНІЧНЕ СКОРОЧЕННЯ



Динамічна (долаюча) робота здійснюється, коли м'яз, скорочуючись, переміщує тіло або його частини в просторі.

При динамічній долаючій роботі відбувається **ауксотонічне скорочення**. При цьому напруга м'язів змінюється по мірі їх скорочення.

Ізотонічне скорочення – м'яз скорочується при постійному навантаженні. Ізотонічне скорочення можливе тільки в експерименті.

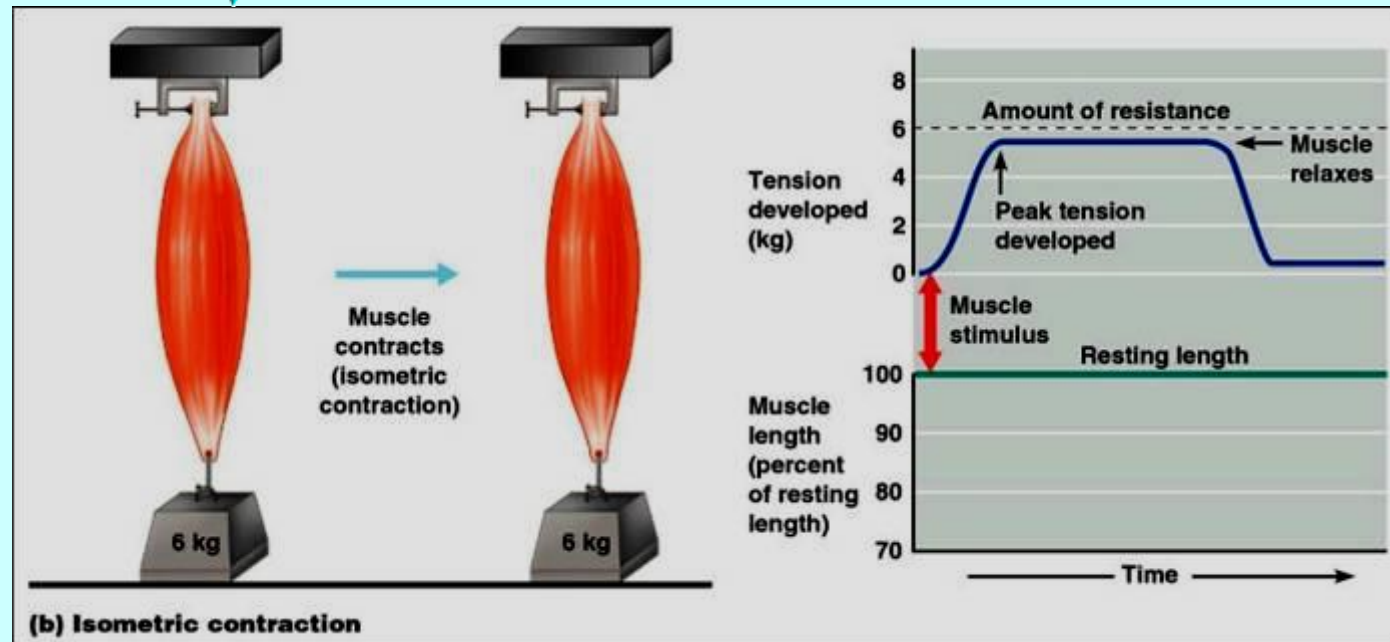
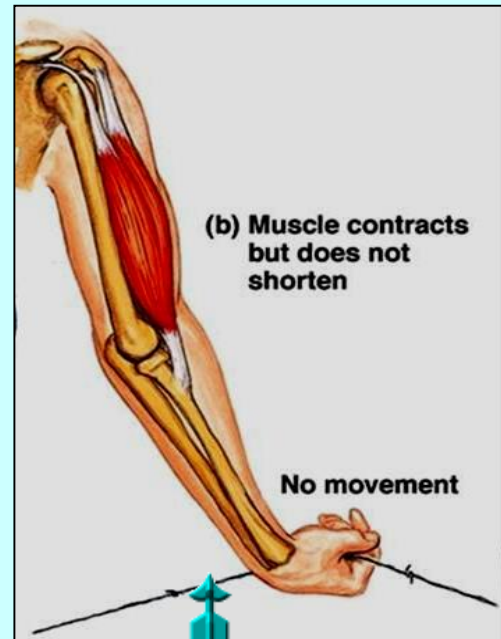


СТАТИЧНА РОБОТА ІЗОМЕТРИЧНЕ СКОРОЧЕННЯ

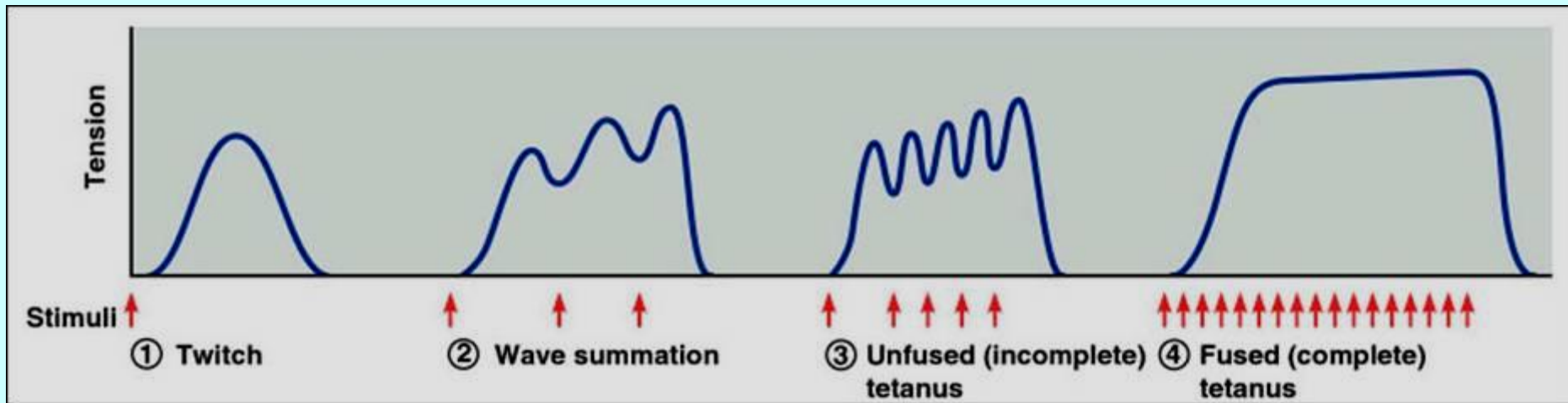
При здійсненні статичної роботи м'яз виконує **ізометричне скорочення** – напруга м'яза підвищується, а його довжина не змінюється. При цьому механічна робота не виконується, т.як., не дивлячись на те, що м'яз розвиває певну силу, переміщення відсутнє.

Т.ЯК. $S = 0$, $A = F \times S = 0$

Статична (утримуюча) робота виконується, якщо при скороченні м'язів, частини тіла зберігаються в певному положенні.



РЕЖИМИ М'ЯЗОВИХ СКОРОЧЕНЬ



Одиночні м'язові скорочення виникають при низькій частоті електричних імпульсів. Якщо черговий імпульс приходить в м'яз після завершення фази скорочення, виникає серія послідовних одиночних скорочень. При більш високій частоті імпульсів черговий імпульс може співпасти з фазою розслаблення попереднього циклу скорочення. Амплітуда скорочення буде сумуватися, виникає **зубчатий тетанус** – довготривале скорочення, яке переривається періодами неповного розслаблення м'яза. При подальшому збільшенні частоти імпульсів кожен наступний імпульс буде діяти на м'яз під час фази скорочення, в результаті чого виникає **гладкий тетанус** – довгочасне скорочення, яке не переривається періодами розслаблення.

**БІОФІЗИКА СЛУХУ
ЗВУКОВІ МЕТОДИ В
МЕДИЦИНІ**

КОЛИВАННЯ

КОЛИВАННЯМИ називаються рухи або процеси, що мають той або інший ступінь повторюваності в часі. Коливання властиві багатьом явищам природи, у тому числі і явищам в біологічних об'єктах.

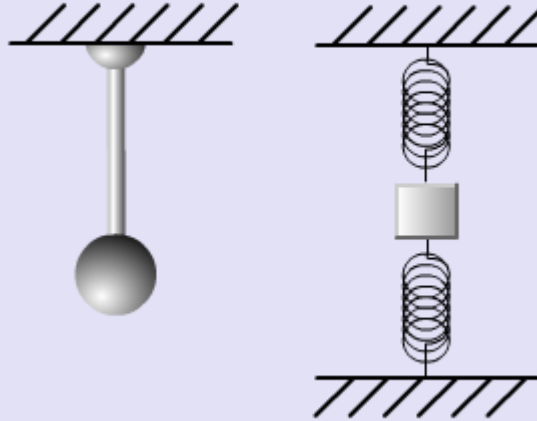
математичний
маятник



дихання



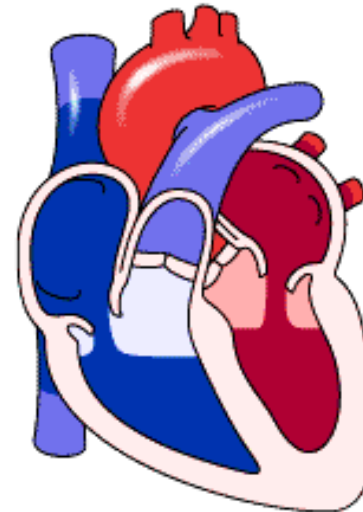
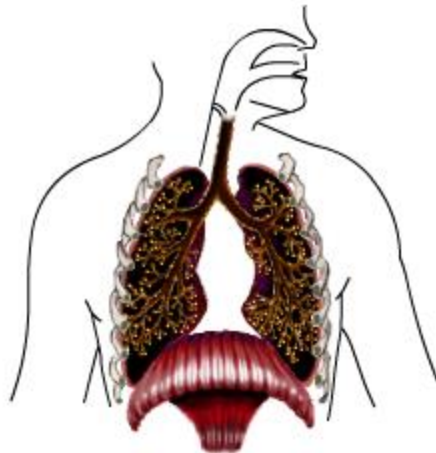
Oscillations



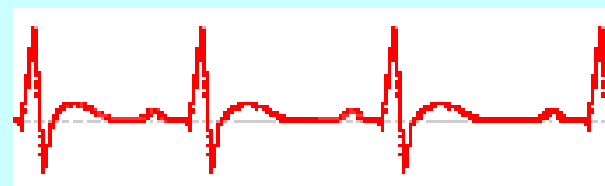
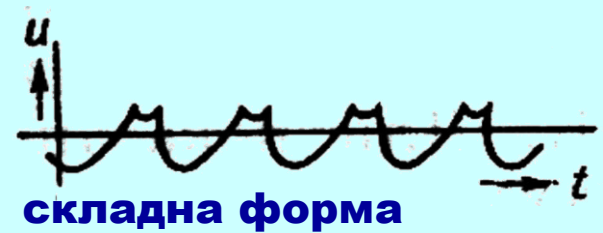
пружинний
маятник



серцебиття

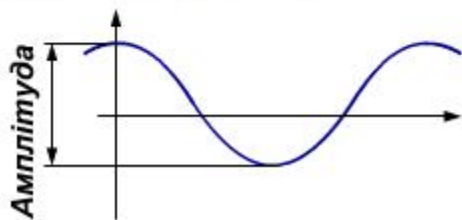


ВИДИ КОЛИВАНЬ

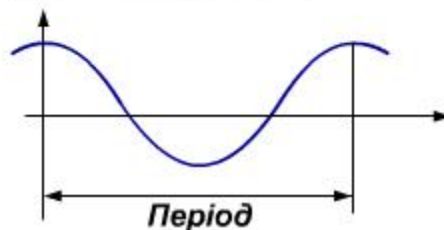


електрокардіограма

ПАРАМЕТРИ КОЛИВАННЯ



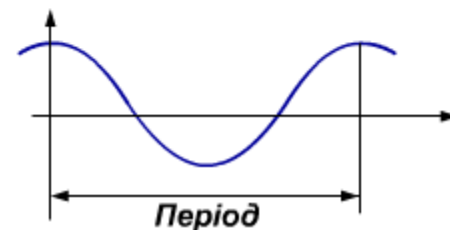
АМПЛІТУДА-
максимальне
відхилення від
положення
рівноваги



ПЕРІОД-
час, за який
виконується
одне повне
коливання



$$\text{Частота} = \frac{1}{\text{Період}}$$



ЧАСТОТА-
кількість
коливань за
одиницю
часу

ПОПЕРЕЧНІ ТА ПОВЗДОВЖНІ ХВИЛІ

ХВИЛЯ – зміна стану середовища (збурення), яке розповсюджується в цьому середовищі та несе з собою енергію без переносу речовини. Спрощене визначення – розповсюдження коливань в просторі.

ПОПЕРЕЧНА ХВИЛЯ-

коливання
частин
середовища
відбуваються
в напрямі
перпендику-
лярному до
напрямку
розповсюд-
ження хвилі

Loading ...

коливання
частин
середовища
відбуваються в
напрямі
розповсюд-
ження хвилі -
ПОВЗДОВЖНЯ
 **ХВИЛЯ**

v – швидкість розповсюдження хвилі, $[v]=\text{м/с}$.

λ – довжина хвилі, відстань між двома сусідніми точками, що коливаються в однаковій фазі $[\lambda]=\text{м}$, $v = \lambda \nu$

I – інтенсивність, енергія, яка переноситься через одиницю площі поперечного перерізу за одиницю часу, Вт/м^2

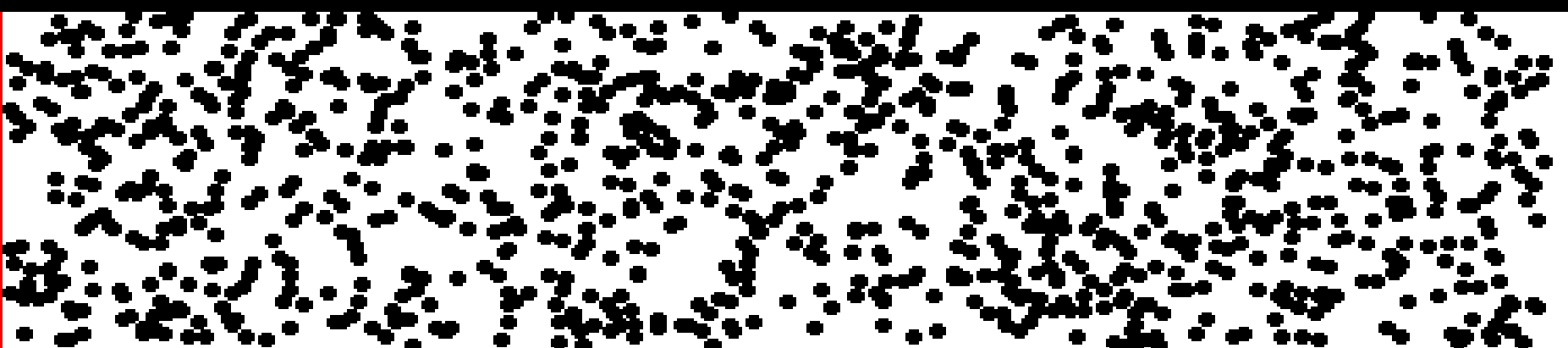
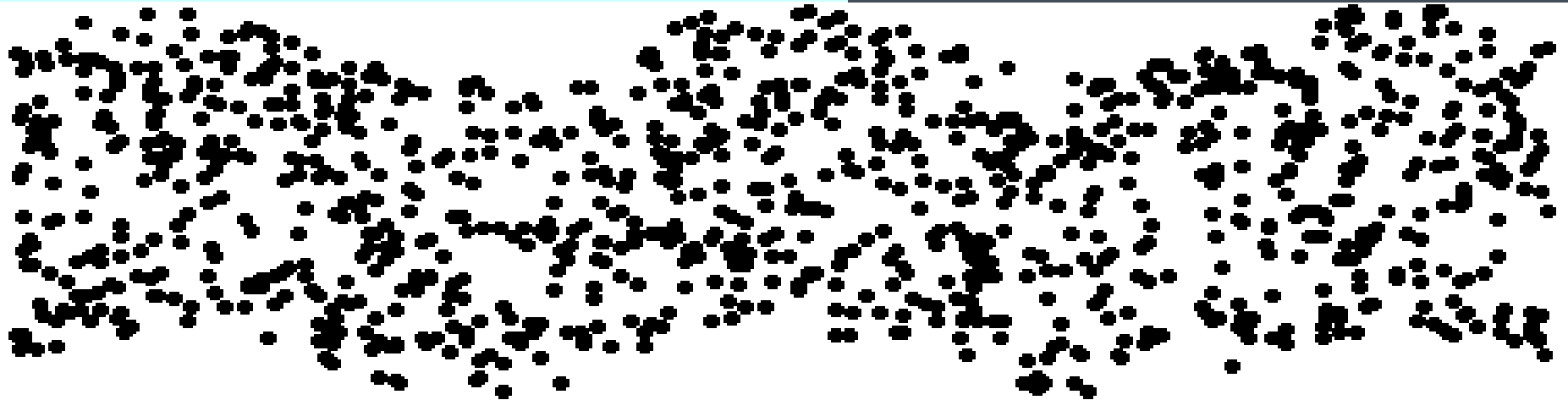
ПОПЕРЕЧНІ ТА ПОВЗДОВЖНІ ХВИЛІ



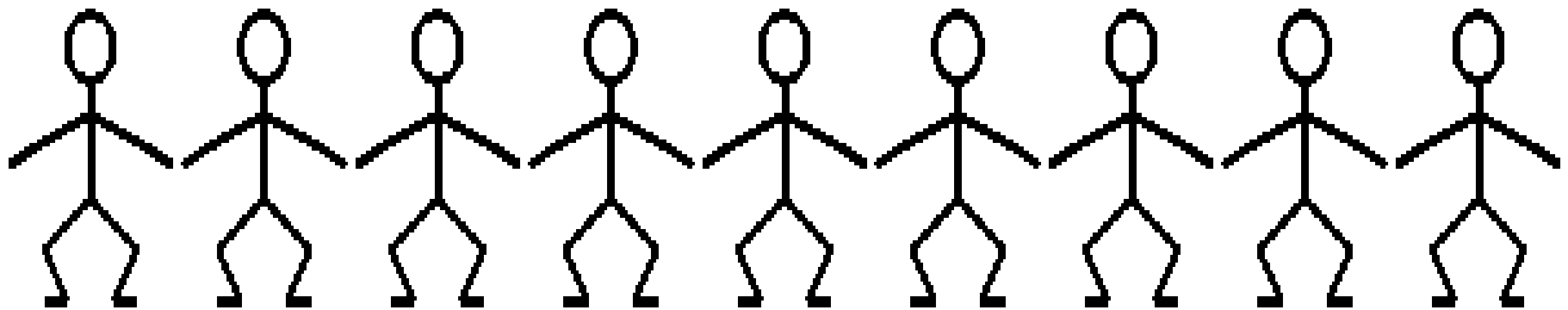
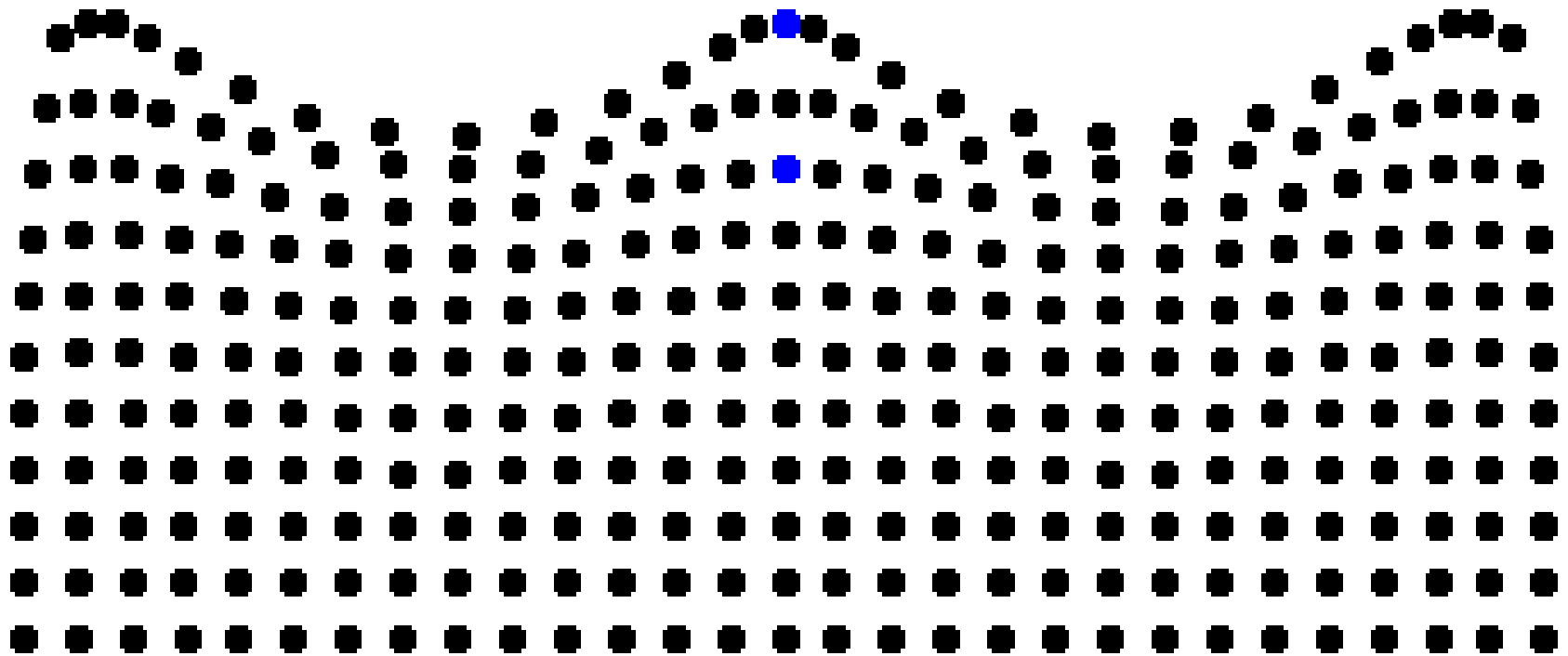
Transverse Wave



Longitudinal Wave



РІЗНОВИДИ ХВИЛЬ

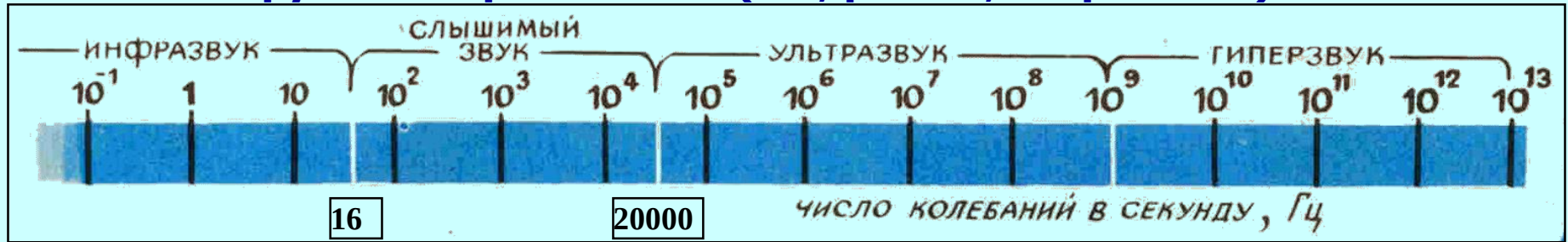


ХВИЛЯ НА СТАДІОНІ



ЗВУКОВІ ХВИЛІ

ЗВУКОВІ ХВИЛІ – окремий випадок пружних хвиль, які розповсюджуються тільки в пружних середовищах (газ, рідина, тверде тіло)



ЗВУКИ

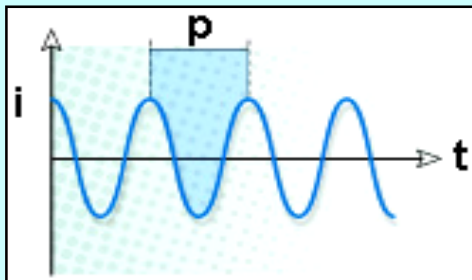
ТОНИ
(періодичні процеси)

ШУМИ
(звуки з часовою залежністю, яка не повторюється)

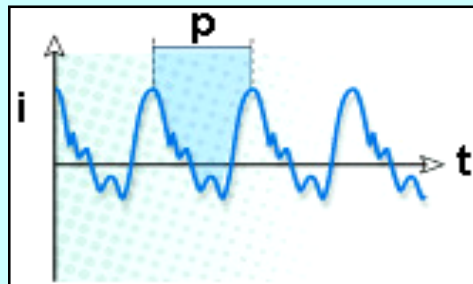
ЗВУКОВІ УДАРИ
(короткочасова звукова дія)

ГАРМОНІЧНИЙ ТОН

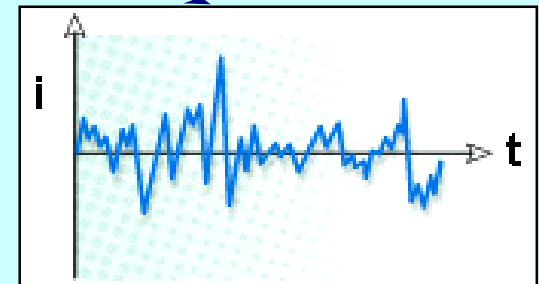
АНГАРМОНІЧНИЙ ТОН



гармонічний тон



ангармонічний тон



шум

ОБ'ЄКТИВНІ І СУБ'ЄКТИВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВУКУ

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВУКУ

**ФІЗИЧНІ
(об'єктивні)**

**ФІЗІОЛОГІЧНІ
суб'єктивні)**

ЧАСТОТА

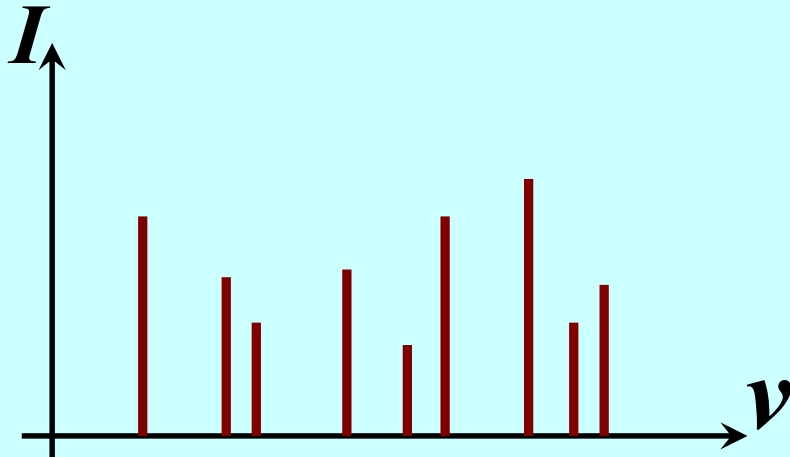
ВИСОТА

ІНТЕНСИВНІСТЬ

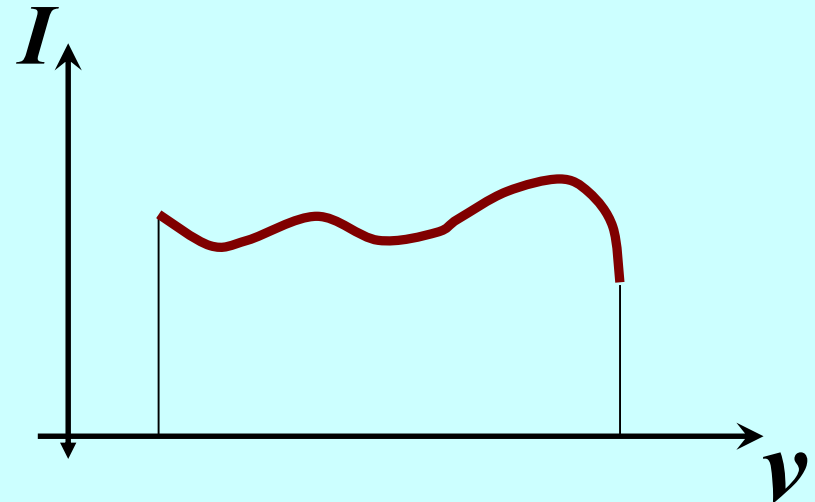
ГУЧНІСТЬ

СПЕКТР

ТЕМБР

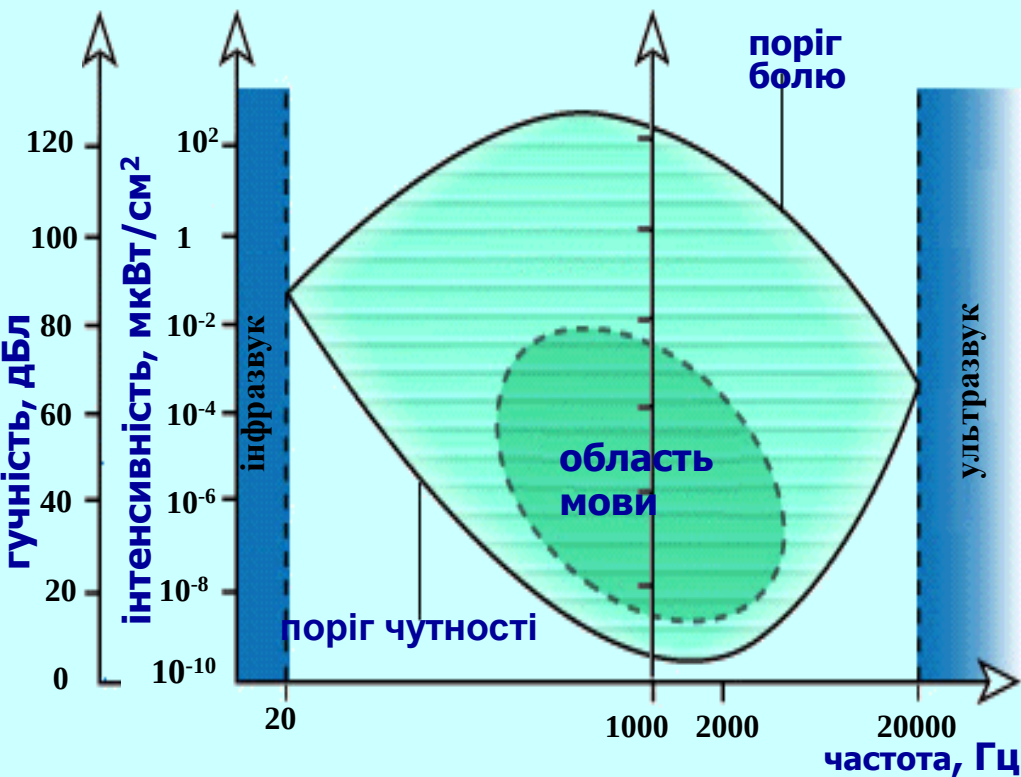


**СПЕКТР СКЛАДНОГО
ТОНУ**



СПЕКТР ШУМУ

ОБЛАСТЬ СПРИЙНЯТТЯ ЗВУКУ

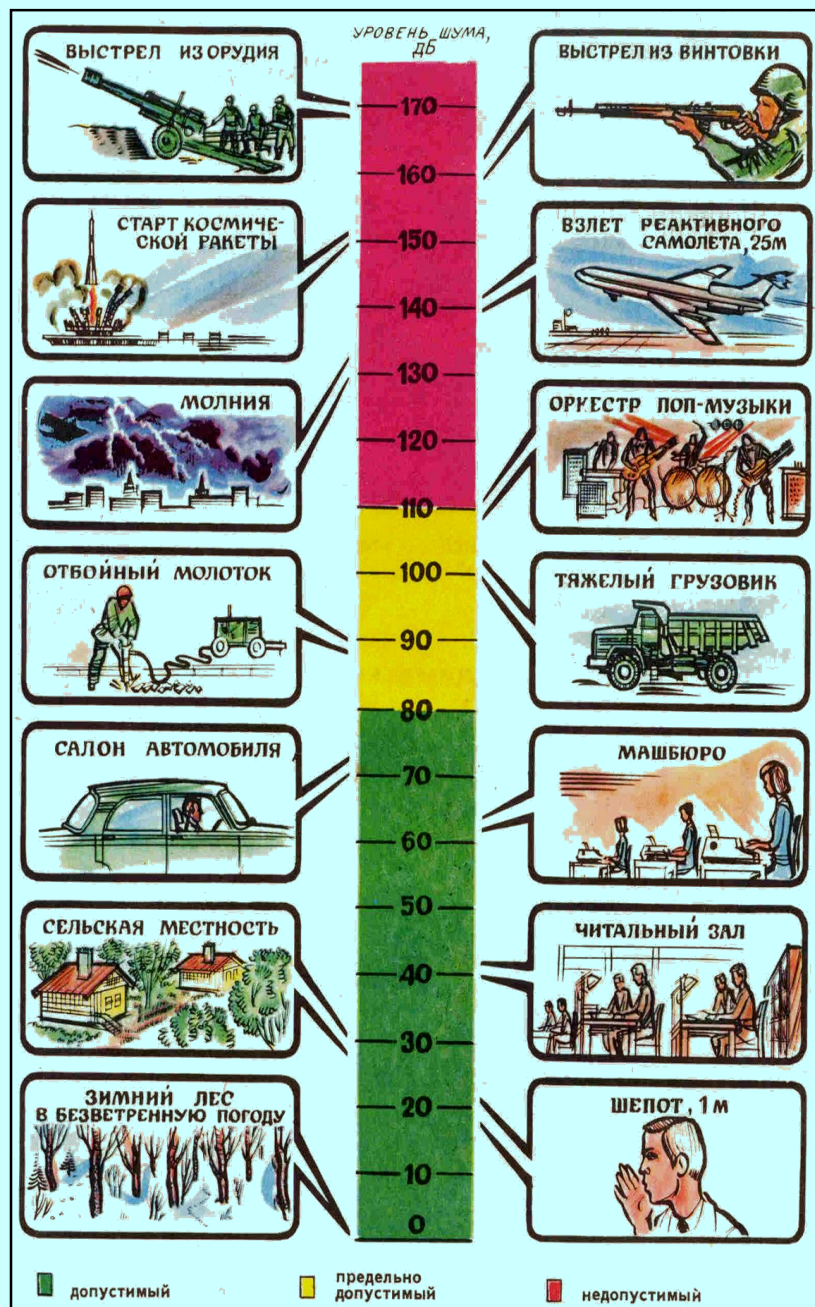


ЗАКОН ВЕБЕРА-ФЕХНЕРА

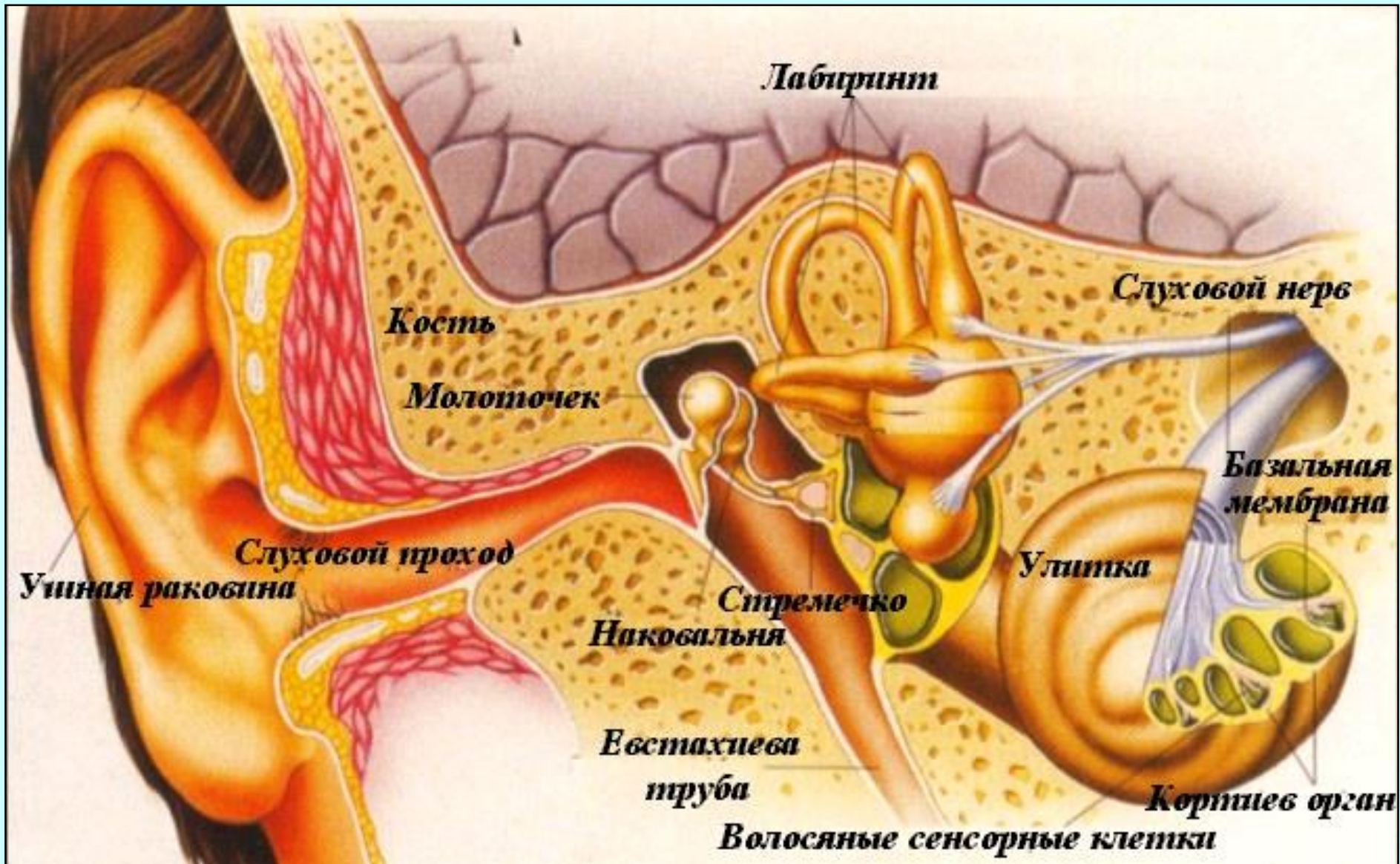
$$L = k \lg \frac{I}{I_0}$$

де L – гучність; I_0 – інтенсивність на порозі чутності; I – деяка інтенсивність; k – коефіцієнт пропорційності, який залежить від частоти звуку, для $\nu=1000\text{Гц}$, $k=1$

ШКАЛА ГУЧНОСТІ



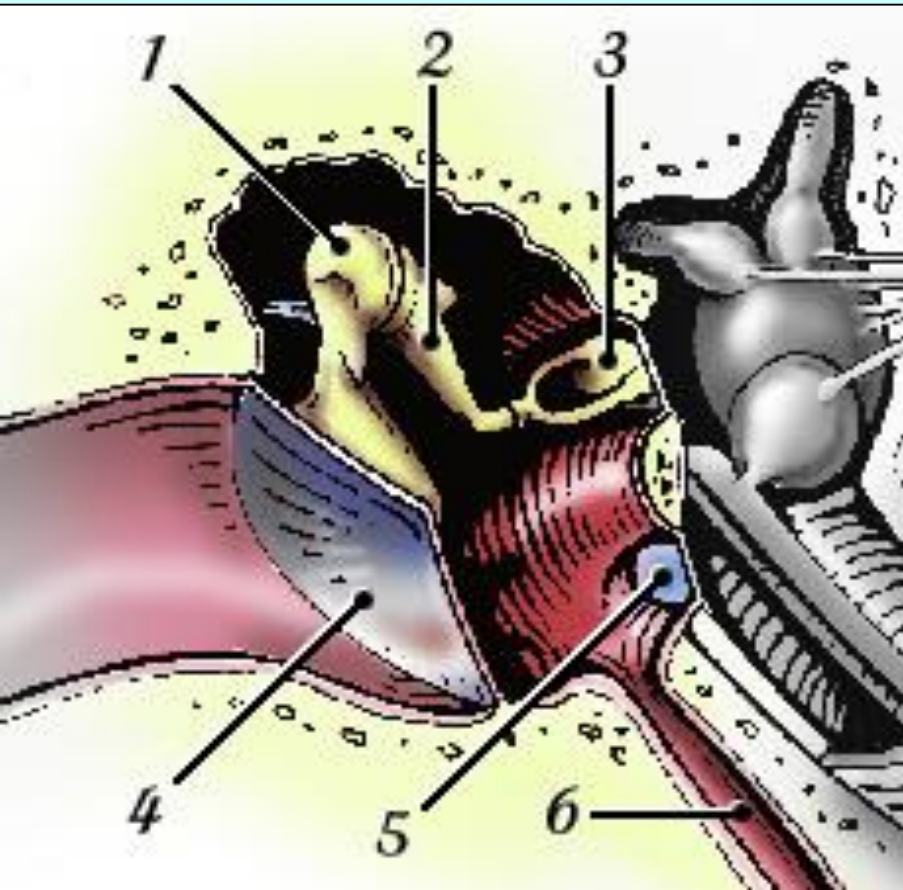
БУДОВА ВУХА



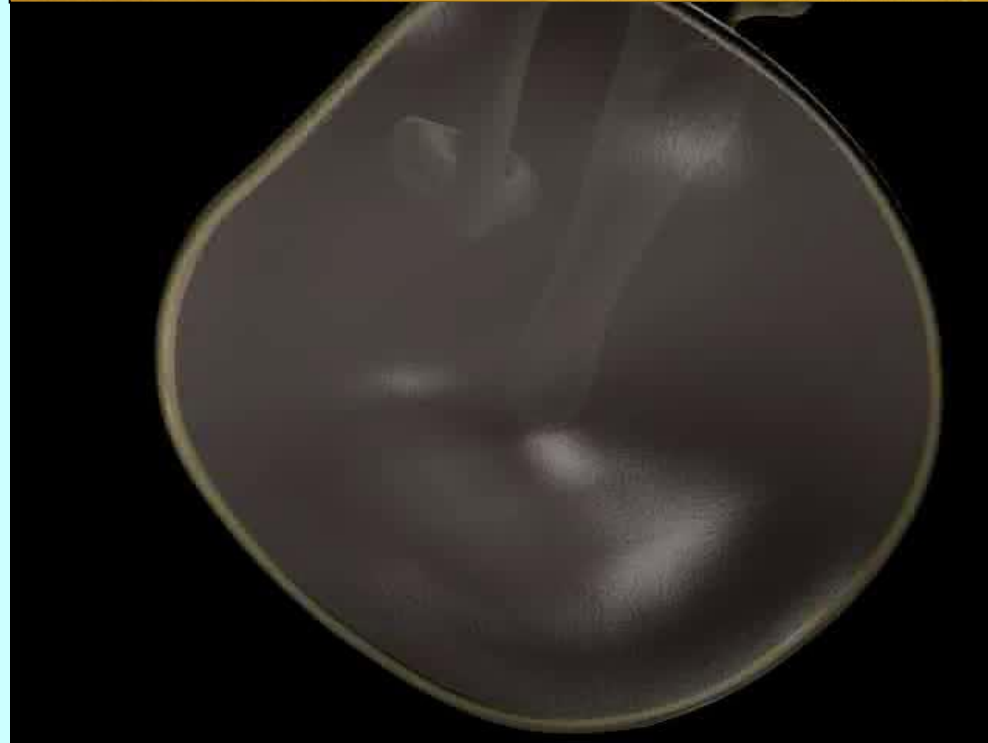
БУДОВА ЗОВНІШНЬОГО ВУХА



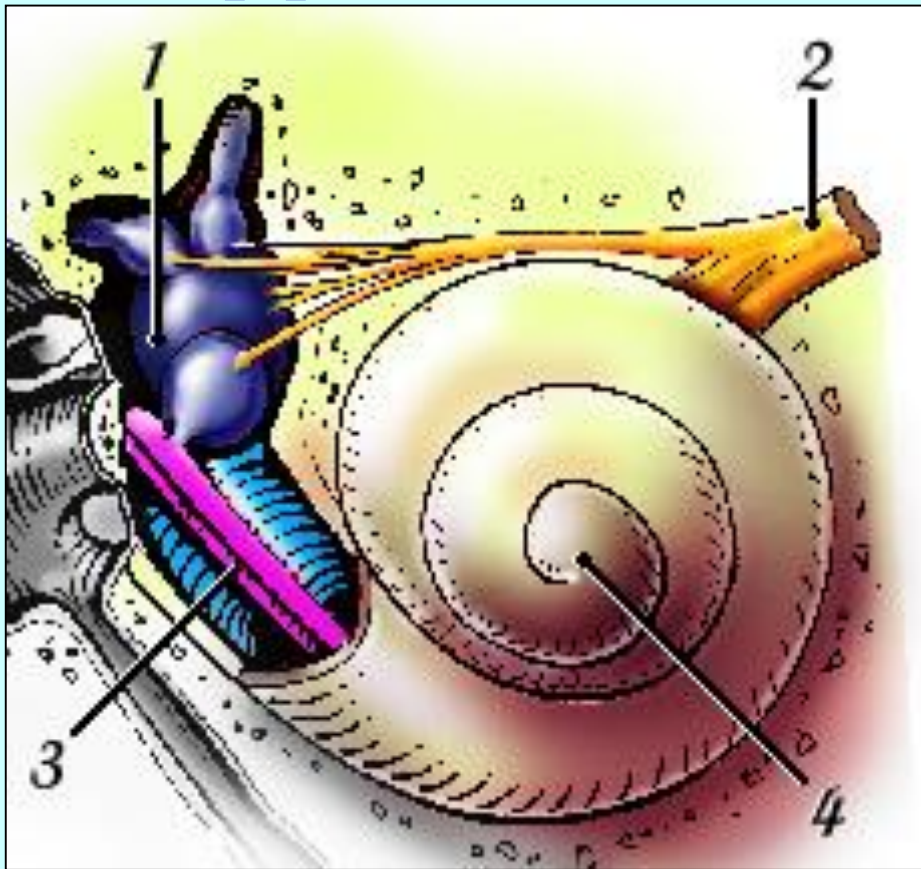
БУДОВА СЕРЕДНЬОГО ВУХА



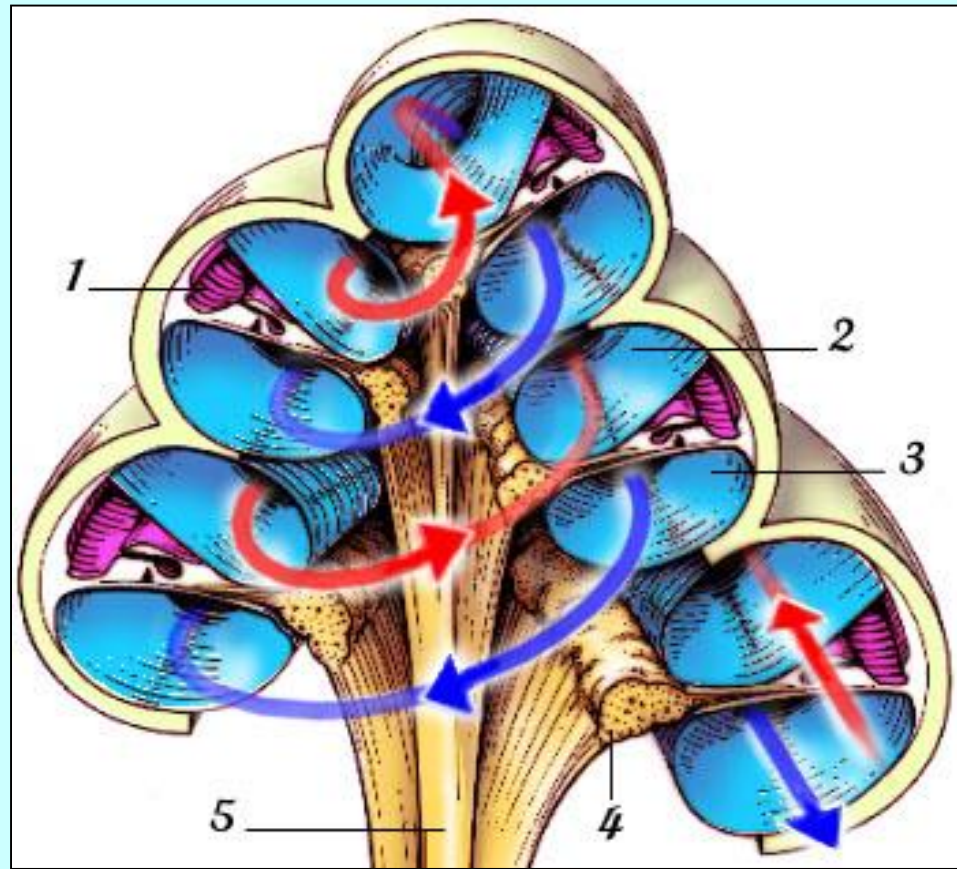
1 – молоточок; 2 – ковадло; 3 – стремінце; 4 – барабанна перетинка; 5 – овальне вікно; 6 – євстахієва труба



БУДОВА ВНУТРІШНЬОГО ВУХА



- 1 – вестибулярний апарат;
- 2 – слуховий нерв;
- 3 – канали завитки;
- 4 – завитка

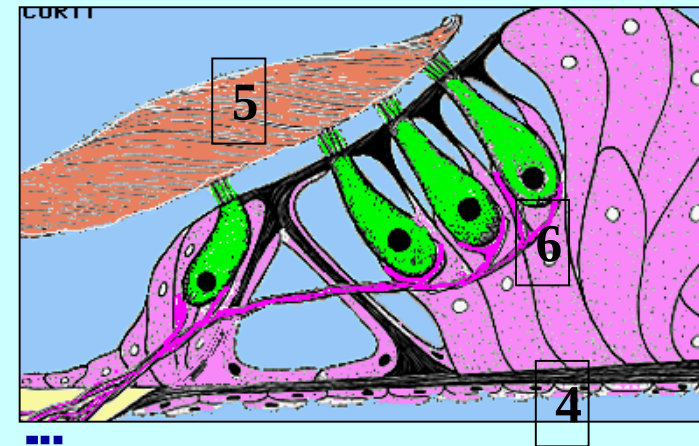
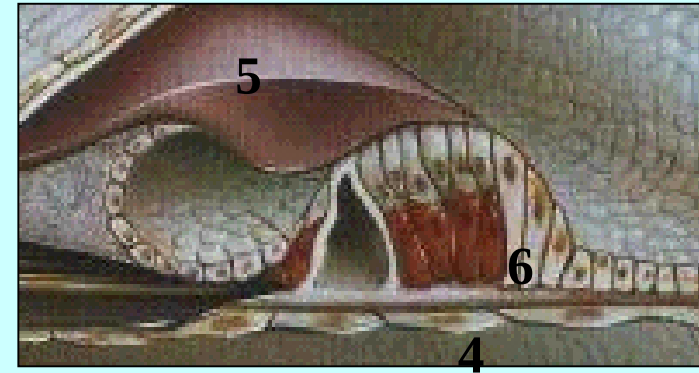
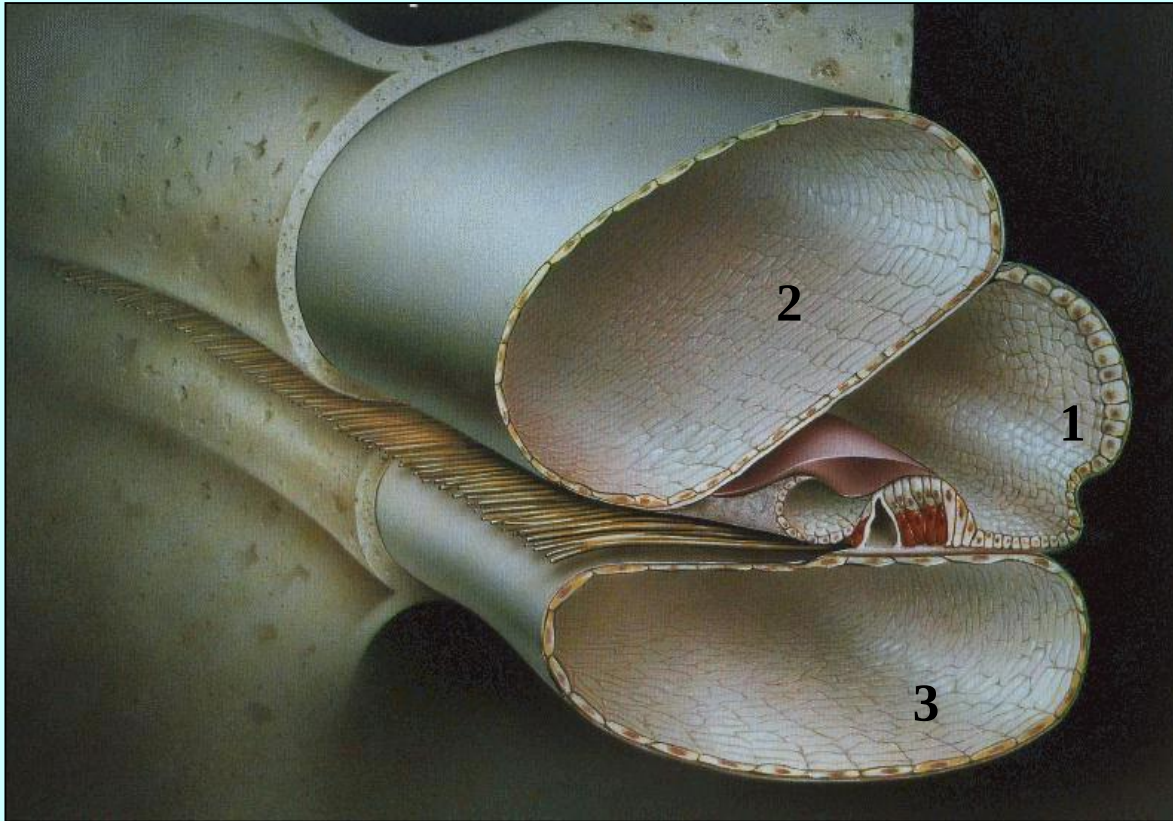


- 1 – середній канал, який має кортіїв орган,
- 2 – вестибулярний канал;
- 3 – барабанний канал;
- 4 – спіральні ганглії;
- 5 – слуховий нерв

БУДОВА ВНУТРІШНЬОГО ВУХА

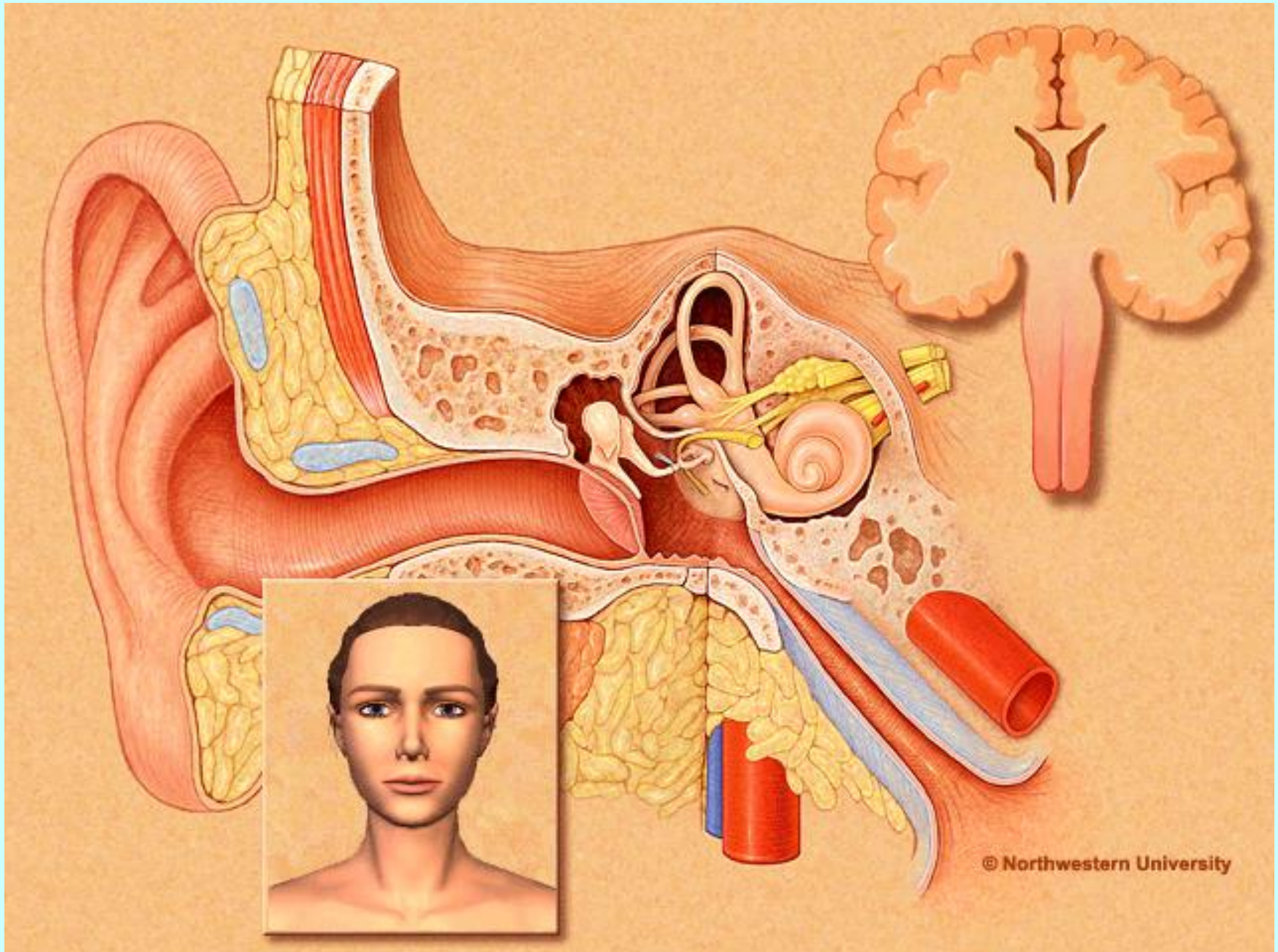


КОРТІЇВ ОРГАН

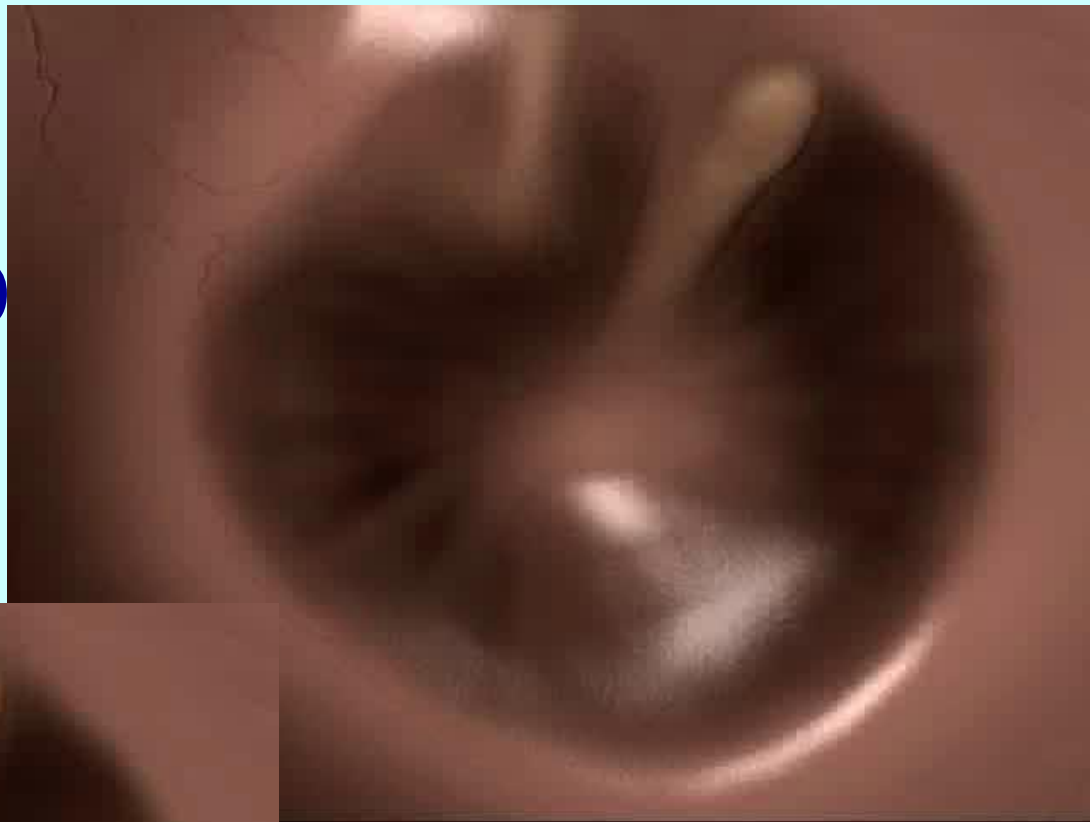


- 1 – середній канал, який має кортіїв орган;
- 2 – вестибулярний канал;
- 3 – барабанний канал;
- 4 – базилярна (основна) мембрана;
- 5 – покривна мембрана;
- 6 – сенсорні клітини

ВЕСТИБУЛЯРНЫЙ АПАРАТ

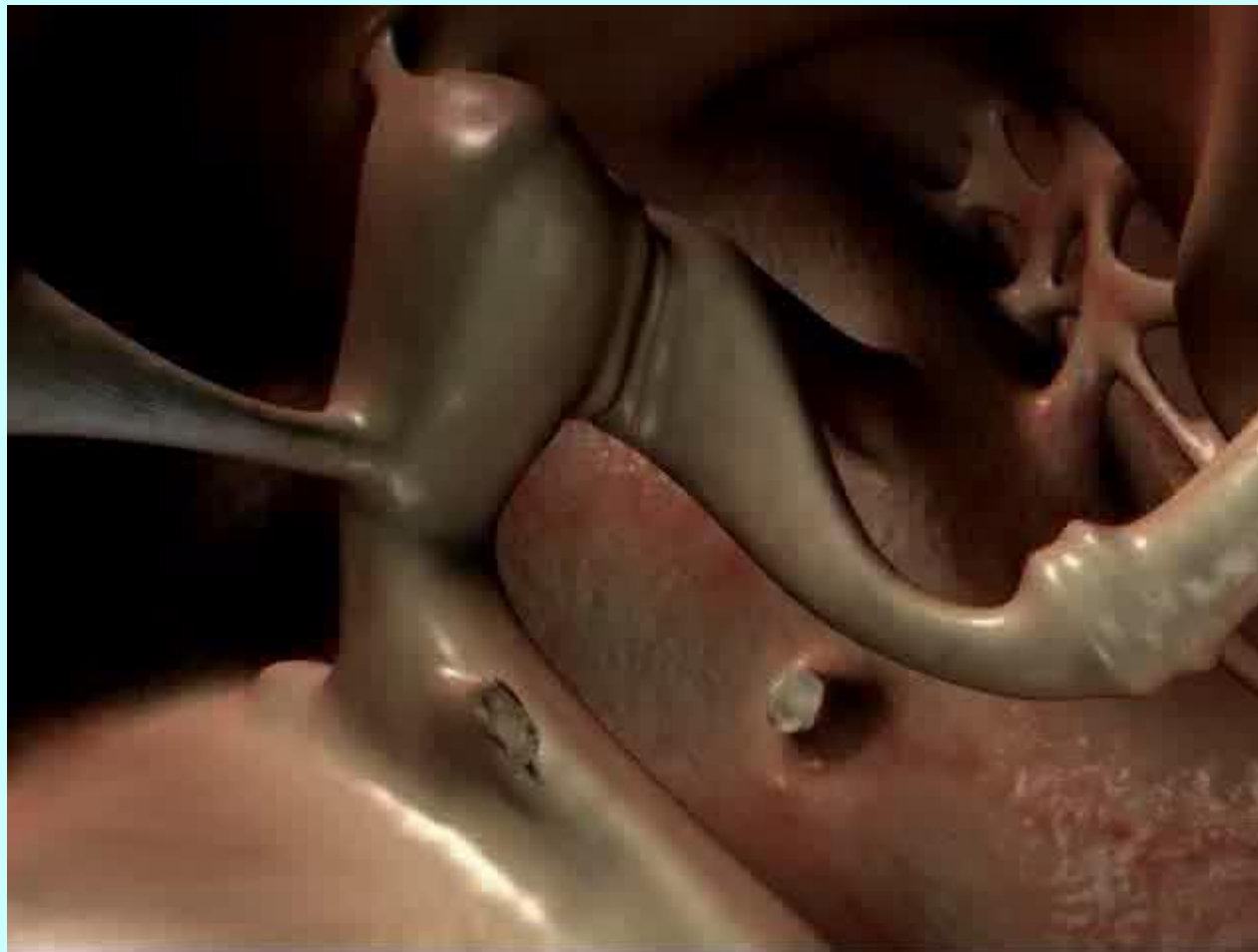


ФУНКЦІОНУ- ВАННЯ ЗОВНІШНЬОГО ВУХА



↑
↔ коливання
барабанної
мембрани

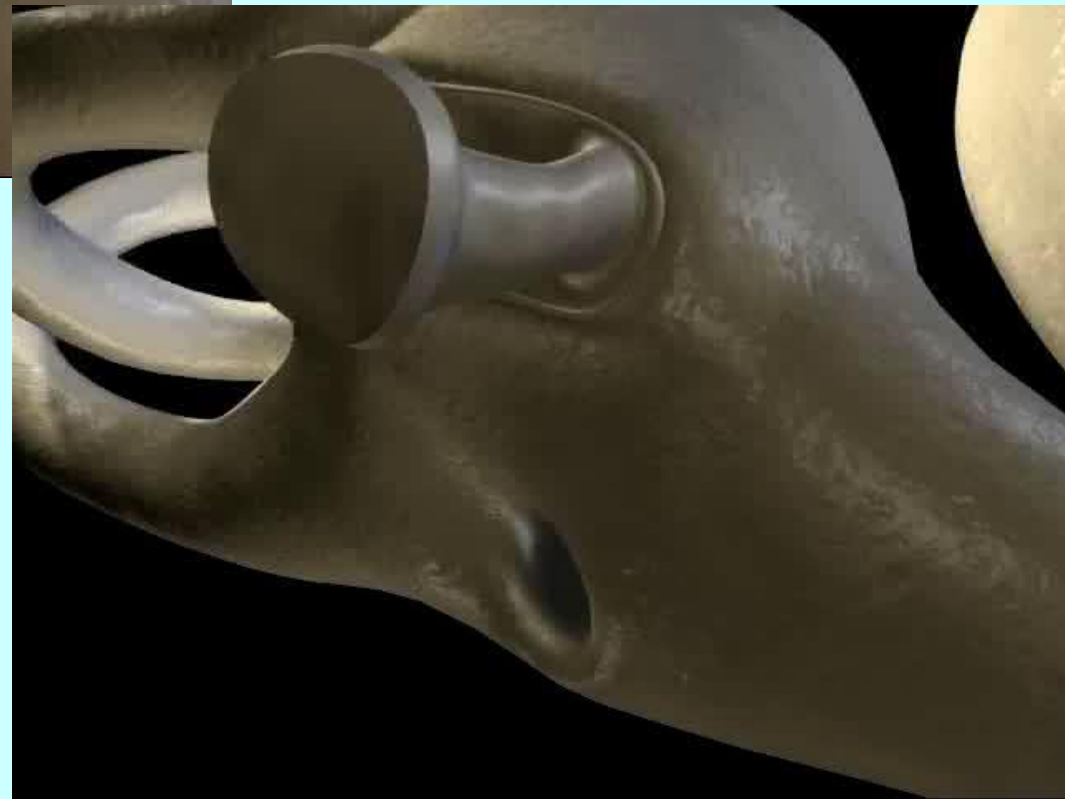
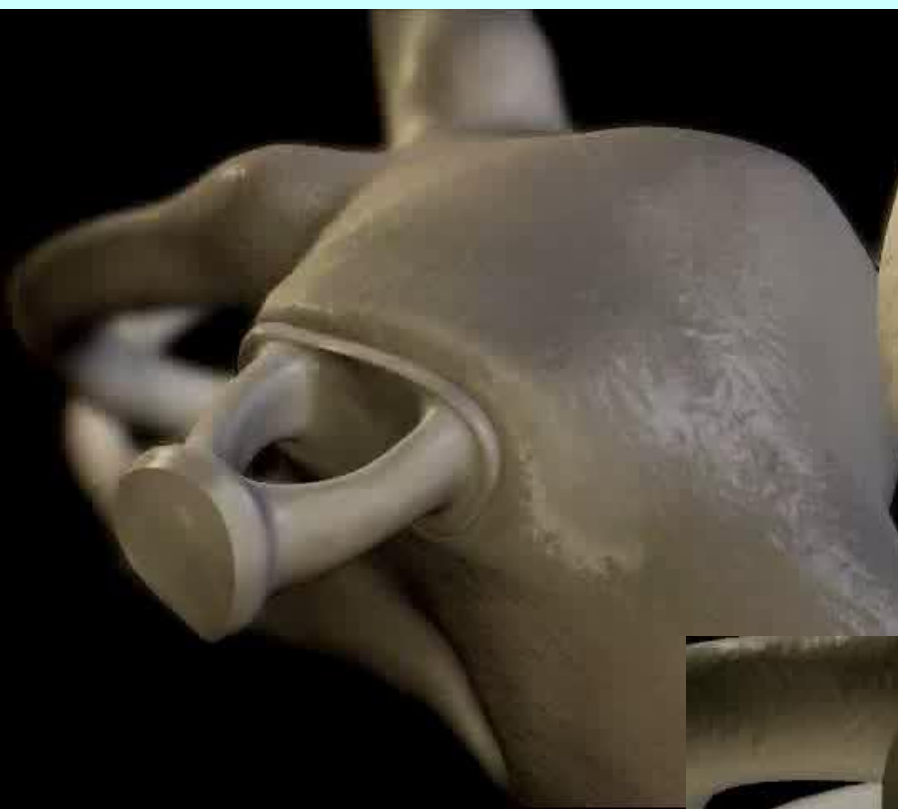
ФУНКЦІОНУВАННЯ СЕРЕДНЬОГО ВУХА



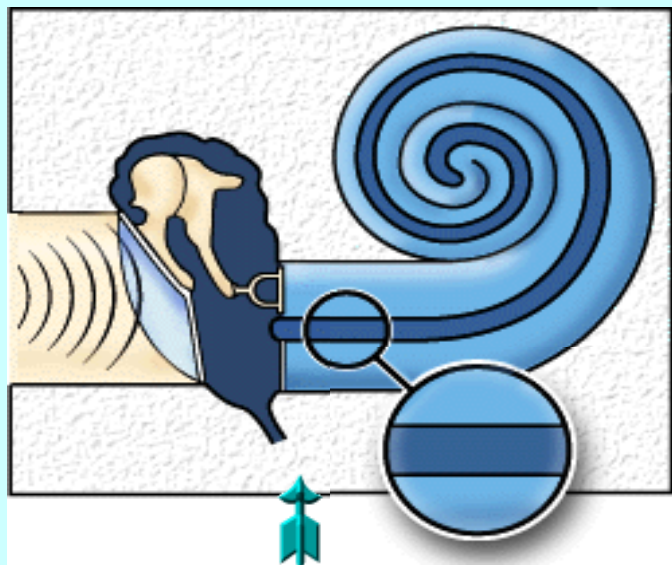
**КОЛИВАННЯ КІСТОЧОК
СЕРЕДНЬОГО ВУХА**

кісточки середнього вуха - це система ричагів, яка є системою ричагів сили, і тому дозволяє передавати коливання з повітряного (яке легко стискається) середовища в рідке (яке важко стискається).

КОЛИВАННЯ СТРЕМІНЦЯ, ОВАЛЬНОГО И КРУГЛОГО ВІКОН



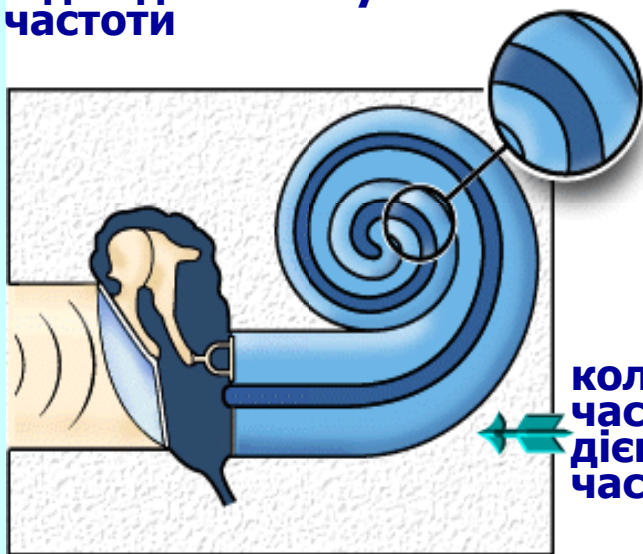
ФУНКЦІОНУВАННЯ ВНУТРІШНЬОГО ВУХА



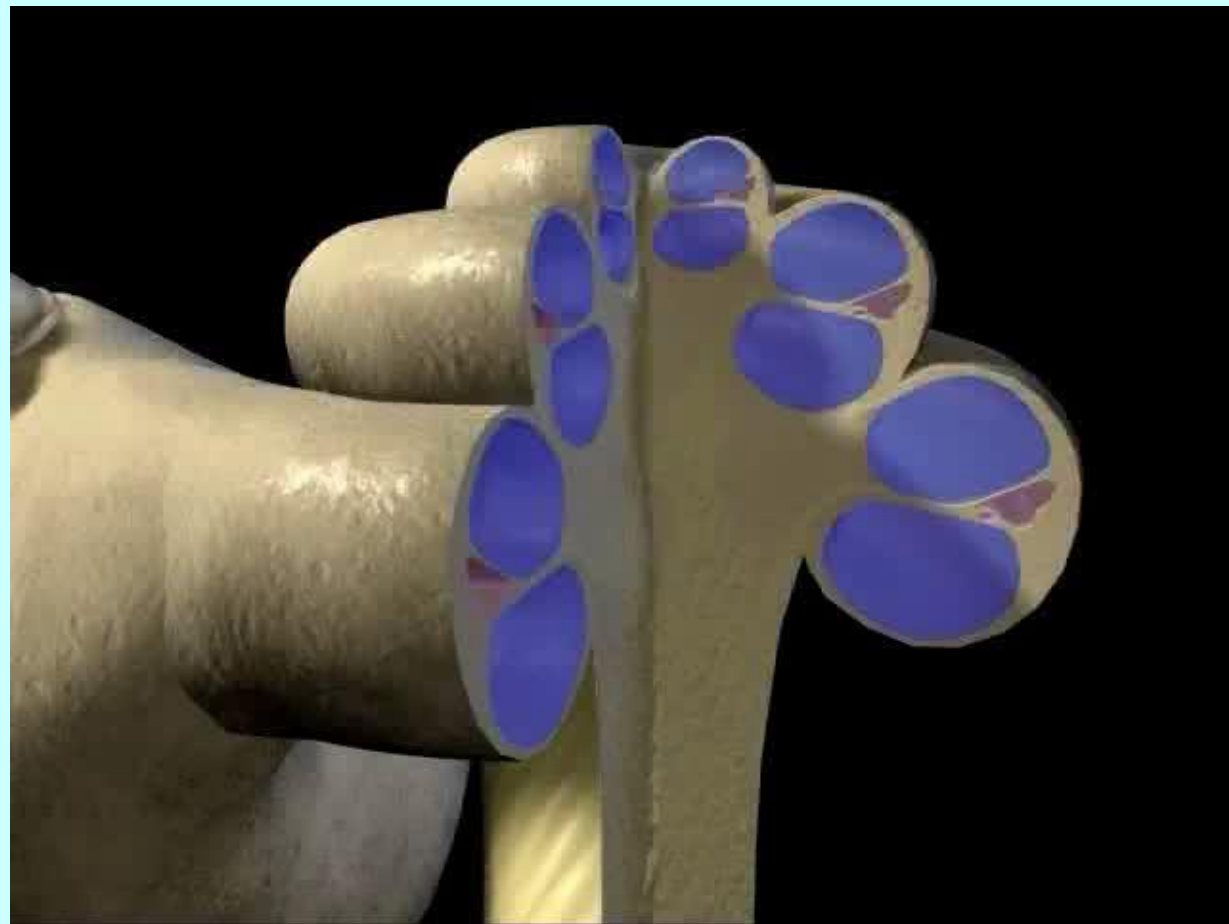
коливання
під дією
частоти

ОСНОВИ
ЗВУКІВ

завитки
високої



коливання верхньої
частки завитки під
дією звуків низької
частоти

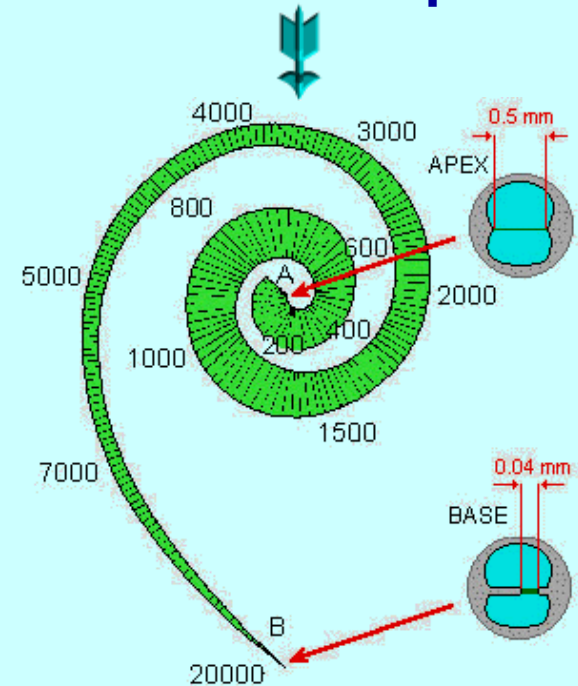


КОЛИВАННЯ КОРТИЇВА ОРГАНА

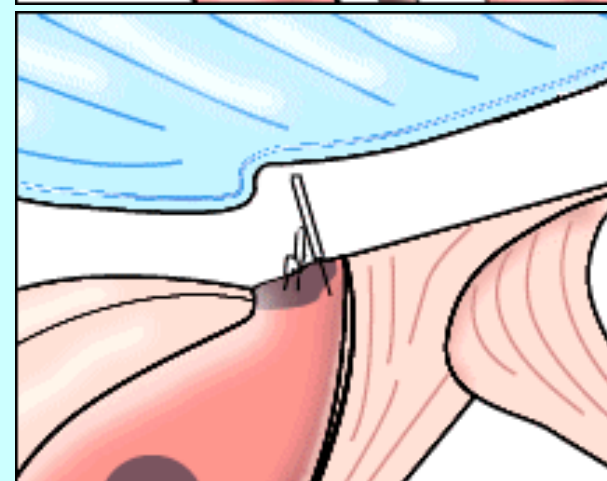
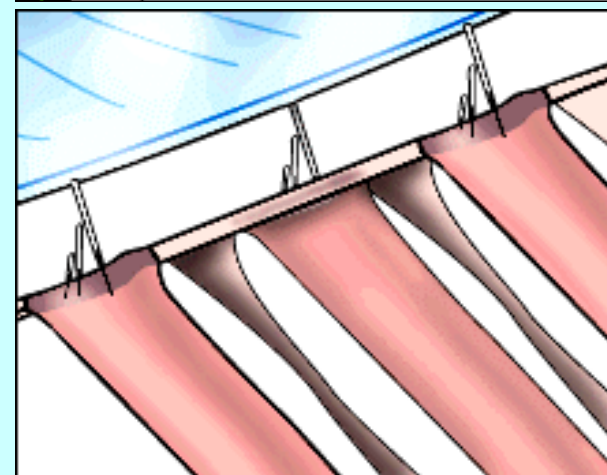
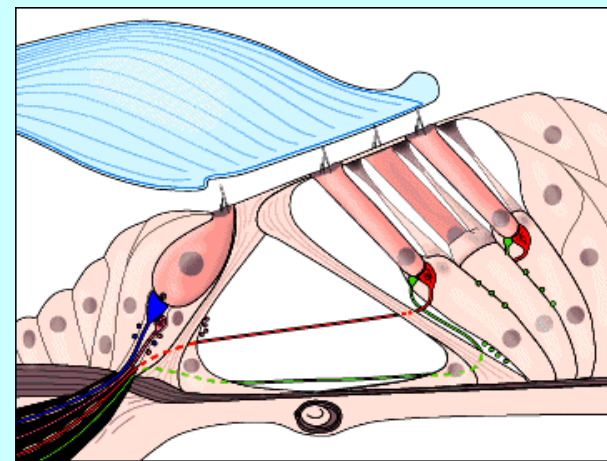
Коливання основної мембрани



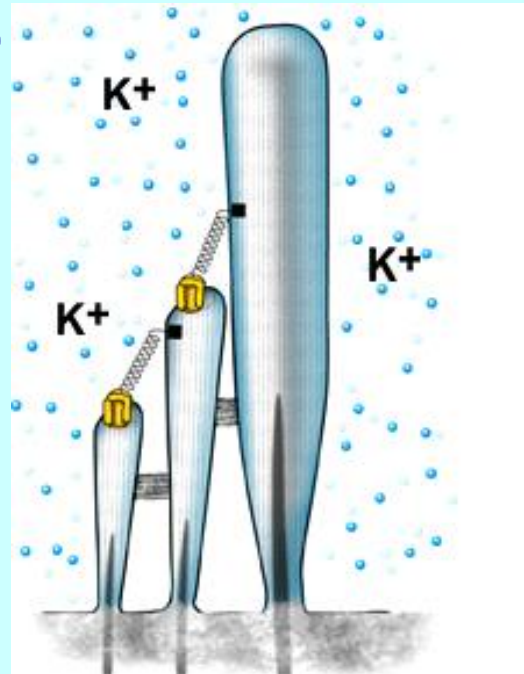
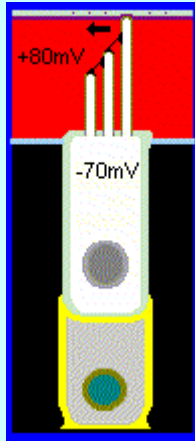
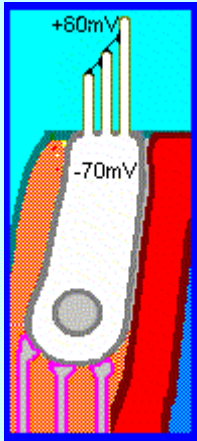
резонансні коливання базиллярної мембрани визначаються її локальною шириною



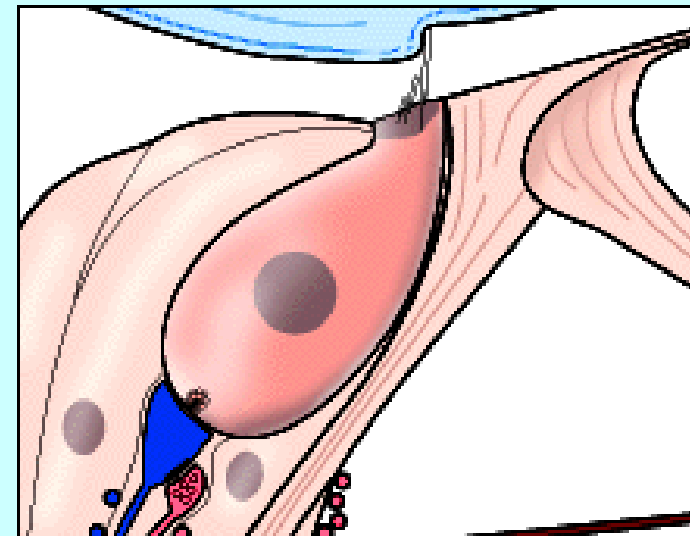
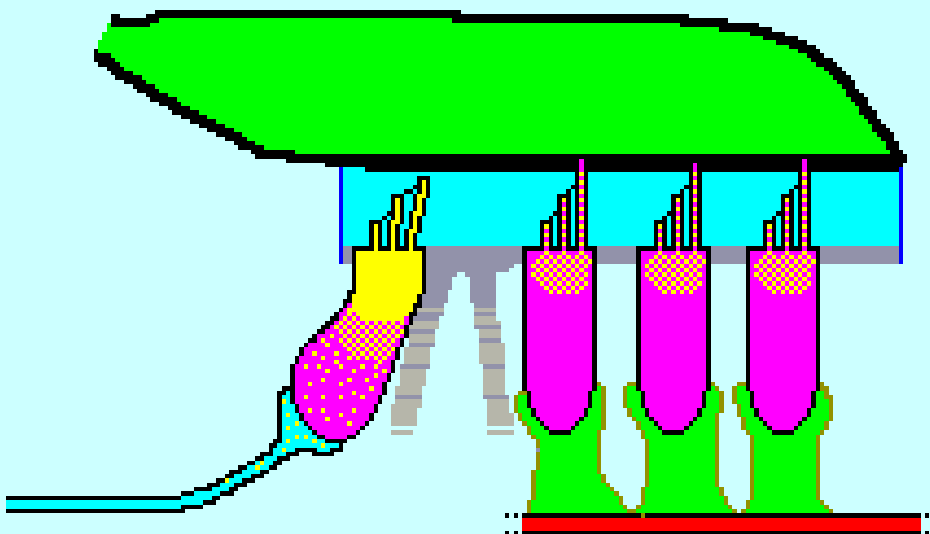
КОЛИВАННЯ РЕЦЕПТОРНИХ (СЕНСОРНИХ) КЛІТИН КОРТІЄВА ОРГАНА



ПЕРЕТВОРЕННЯ МЕХАНІЧНИХ КОЛИВАНЬ

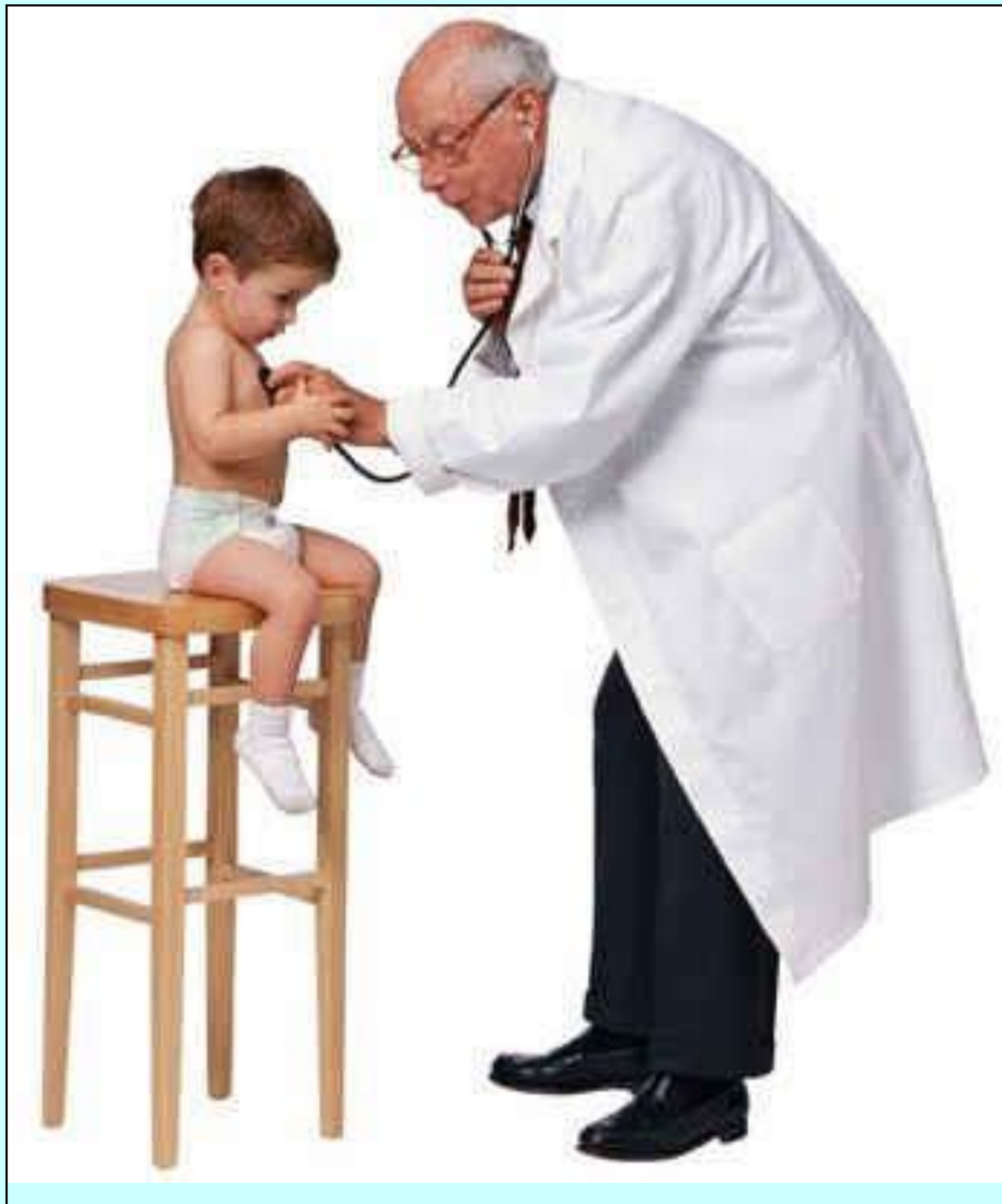


перетворення механічних коливань в електричні сигнали на рецепторних (волоскових) клітинах, які знаходяться в кортієвому органі

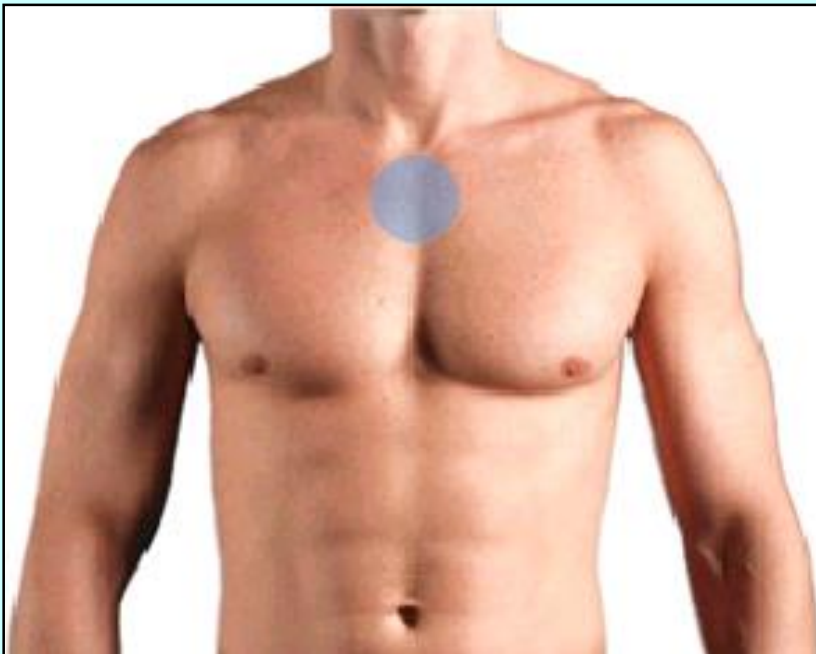


ЗВУКОВІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

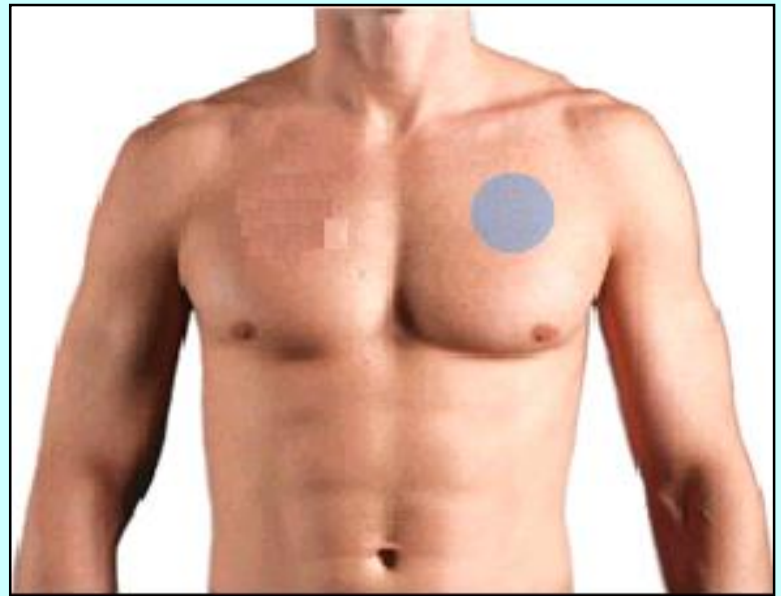
**АУСКУЛЬТАЦІЯ –
вислуховування звуків,
які виникають при
диханні та роботі серця
та інших внутрішніх
органів**



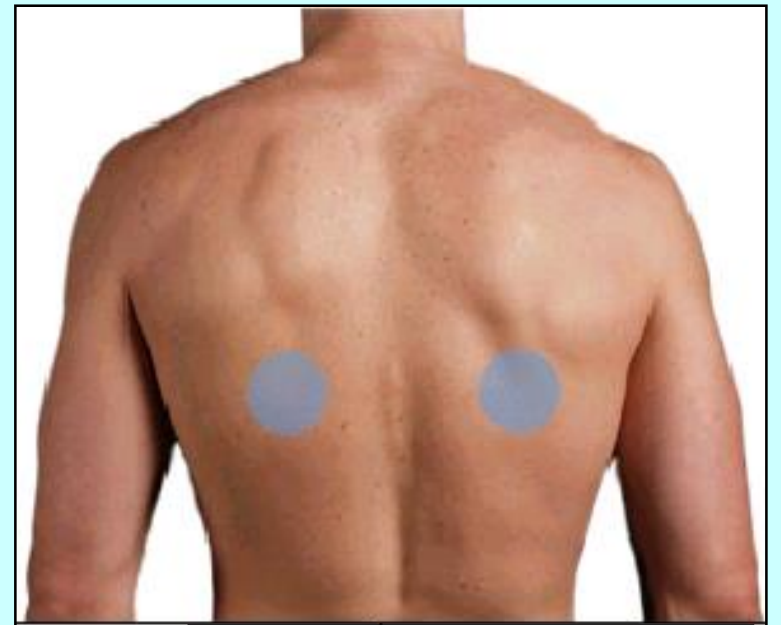
ПРИКЛАДИ ЗВУКІВ ПРИ АУСКУЛЬТАЦІЇ



**нормальне бронхіальне
дихання**



аускультация сердца



хрипи



ПЕРКУСІЯ

вистукування, вивчення
положення та стану внутрішніх
органів за відбитим звуком

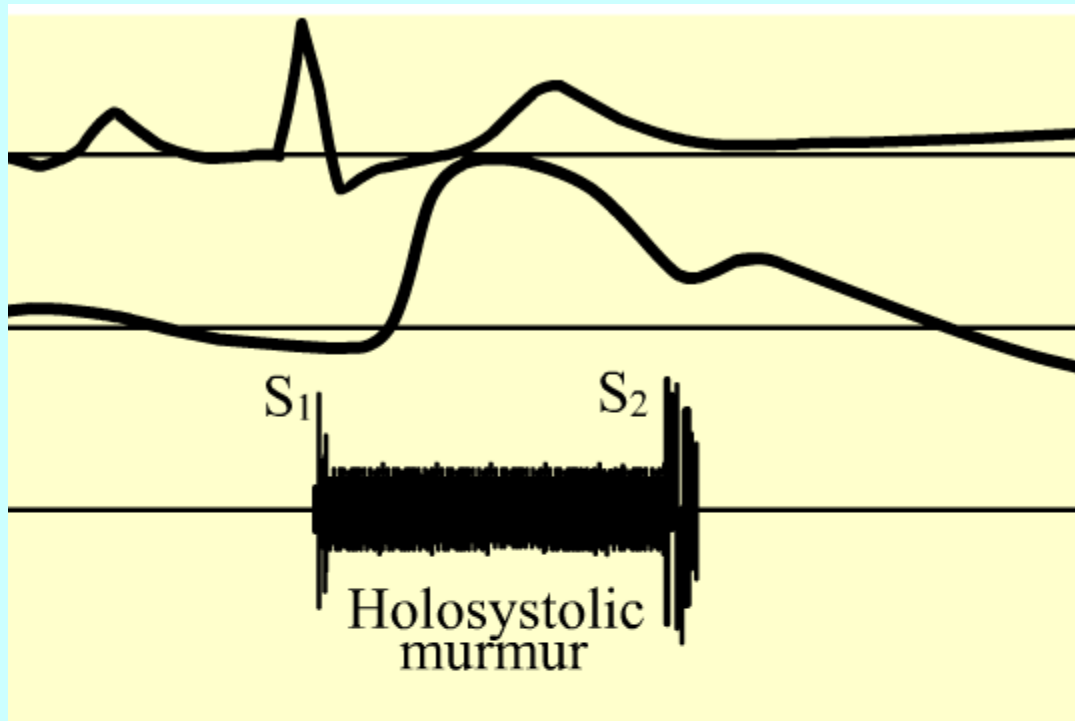


Flash Module Loading

Please be patient while the current module loads.

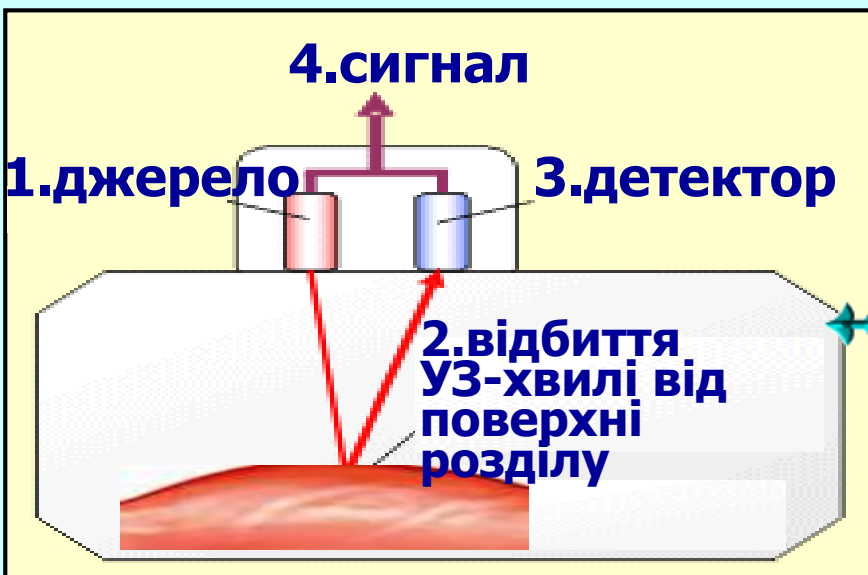


ФОНОКАРДІОГРАФІЯ



loading

ВИКОРИСТАННЯ УЛЬТРАЗВУКУ В МЕДИЦИНІ



діагностиці в лікуванні

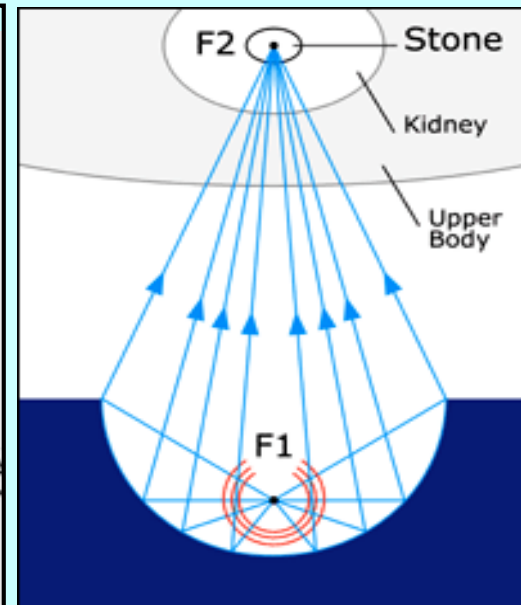
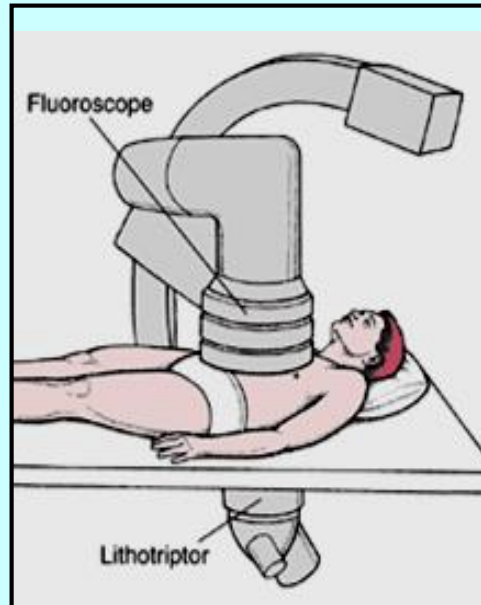
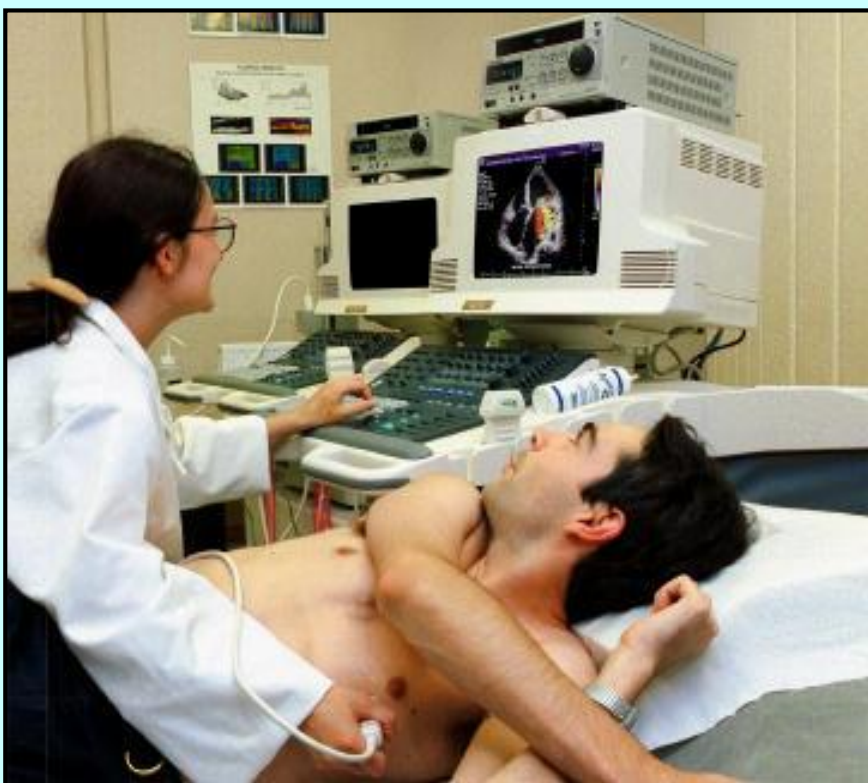
узд

ультразвукова фізіотерапія

ультразвукова хірургія

механічна дія (явище кавітації)

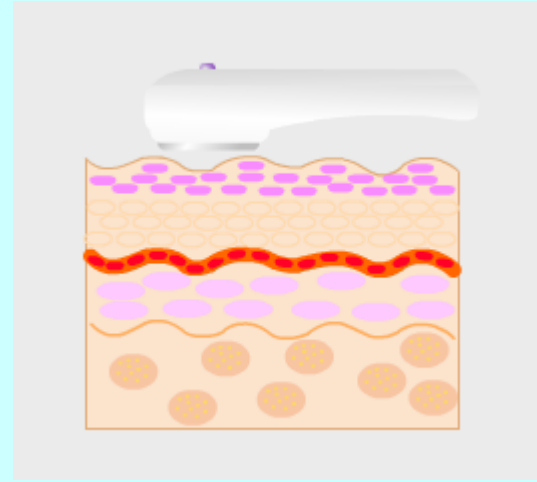
теплова дія (явище перетворення механічної роботи в теплову)



принцип дроблення камінців за допомогою ультразвука

УЛЬТРАЗВУК В МЕДИЦИНІ

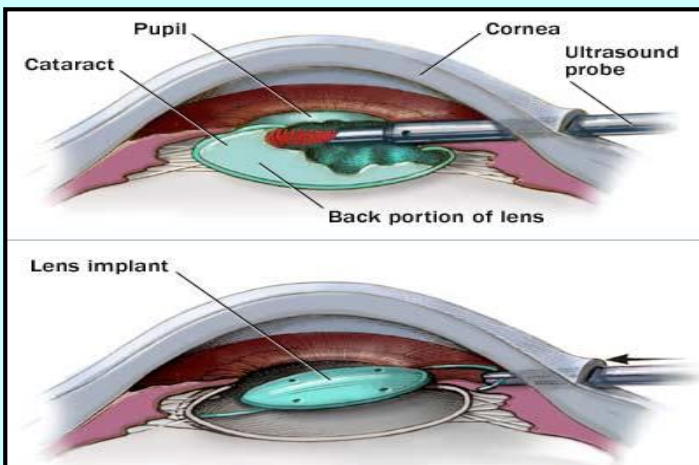
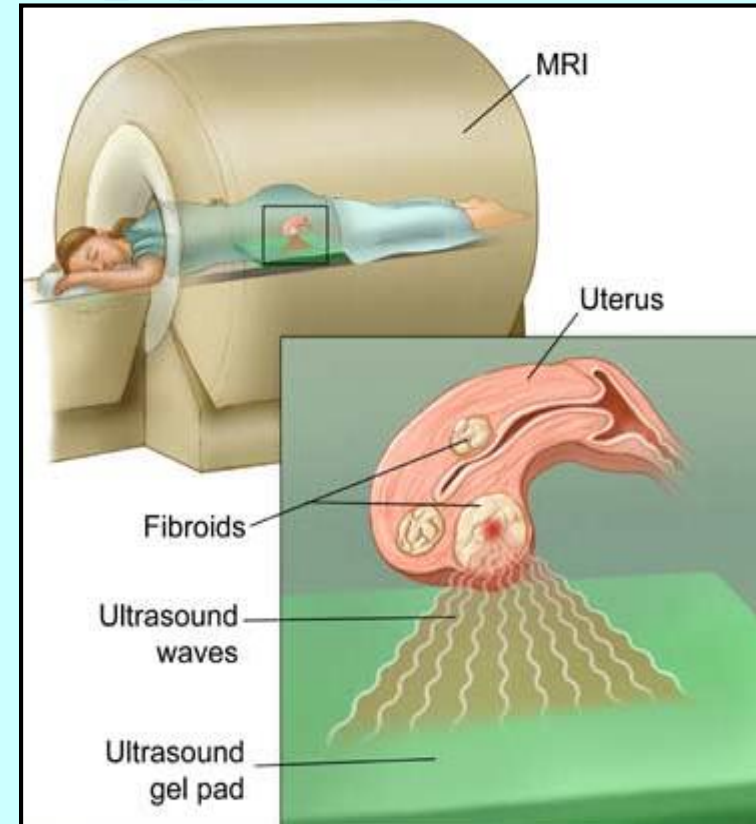
Застосування УЗ для активної дії на живий організм в медицині ґрунтується на ефектах, що виникають в біологічних тканинах при проходженні через них УЗ-вих хвиль. Коливання частинок середовища в хвилі викликають своєрідний **мікромасаж тканин**, поглинання УЗ - **локальне нагрівання** їх. Одночасно під дією УЗ відбуваються фізико-хімічні перетворення в біологічних середовищах. При помірній інтенсивності звуку ці явища не викликають незворотніх порушень, а тільки покращують обмін речовин і, отже, сприяють життєдіяльності. Ці явища знаходять використання в **УЗ-вій терапії** (інтенсивність УЗ до 1 Вт/см^2). Вплив потужного УЗ на біологічні тканини використовують для **руйнування мікроорганізмів** при **стерилізації** медичних інструментів та лікарських речовин.



Ефект стерилізації забезпечується явищем кавітації, яке виникає в рідині – створення та закриття невеличких пустот, що супроводжується локальним виділенням значної енергії. Власне на подібних ефектах ґрунтується метод отримання емульсій – перемішування рідин, які не змішуються. Проблема отримання емульсій має місце, наприклад, в фармакології.

УЛЬТРАЗВУК В МЕДИЦИНІ

При великих інтенсивностях ультразвук знаходить застосування в **УЗ-вій хірургії**. Для хірургічних операцій використовують фокусований УЗ, який дозволяє проводити локальне руйнування в глибоких структурах, наприклад мозку, без руйнування навколишніх тканин (інтенсивність УЗ досягає сотен і навіть тисяч Вт/см²). В хірургії використовують також **УЗ-ві інструменти**, робочий кінець яких має вид скальпеля, пилки, голки і тому подібне. Накладання УЗ-вих коливань на такі, типові для хірургії інструменти надає їм нові якості, суттєво знижується рівень потребуємих зусиль і, отже, травматизм оперативного втру-

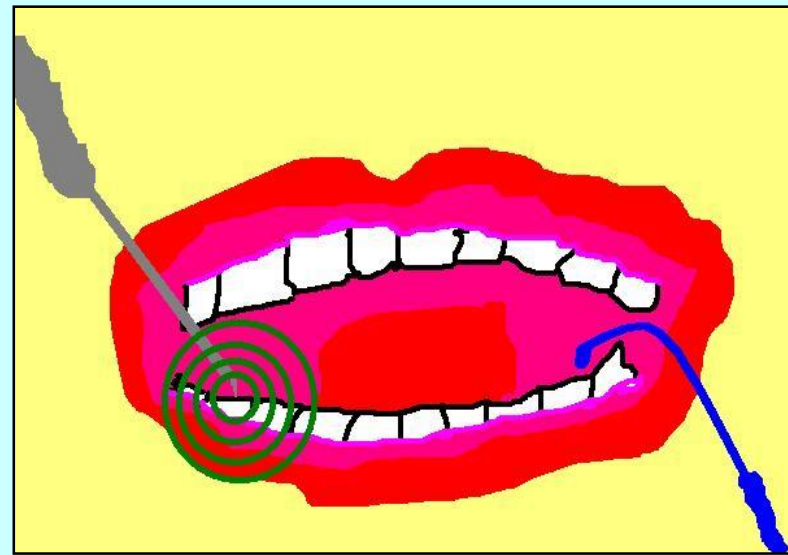


чання, крім того проявляється **кровоспиняючий та обезболюючий ефект**.

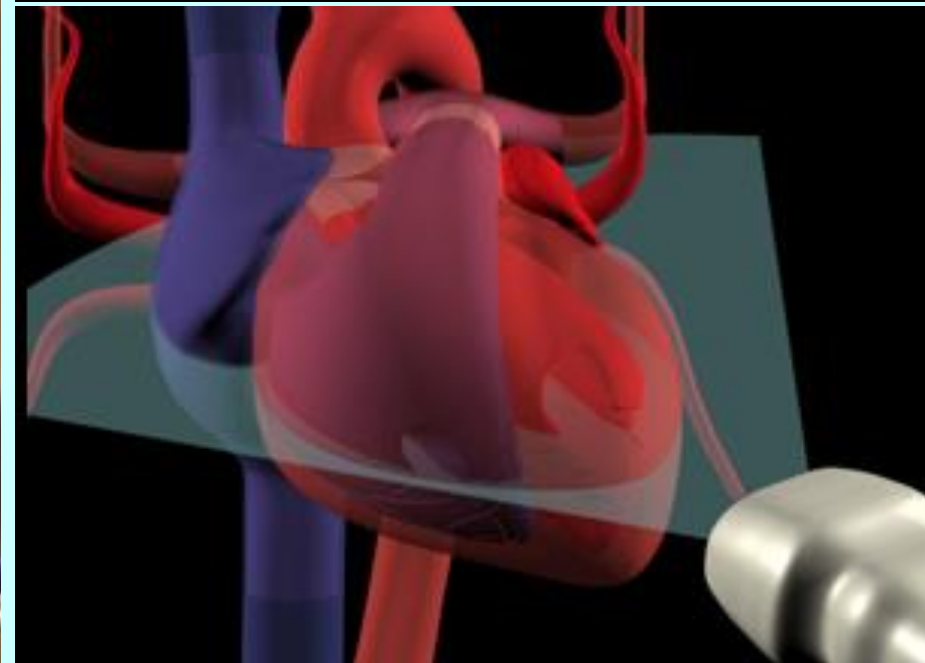
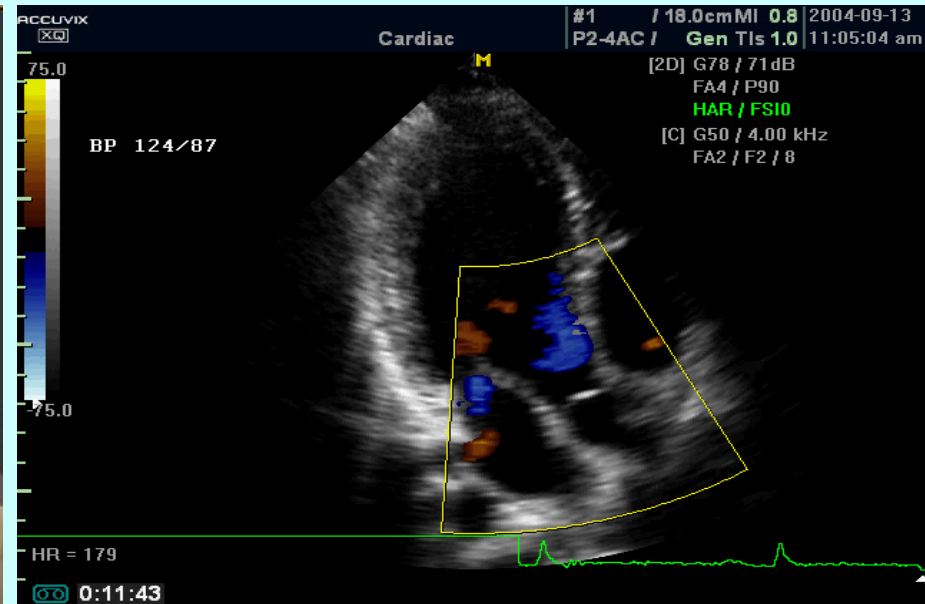
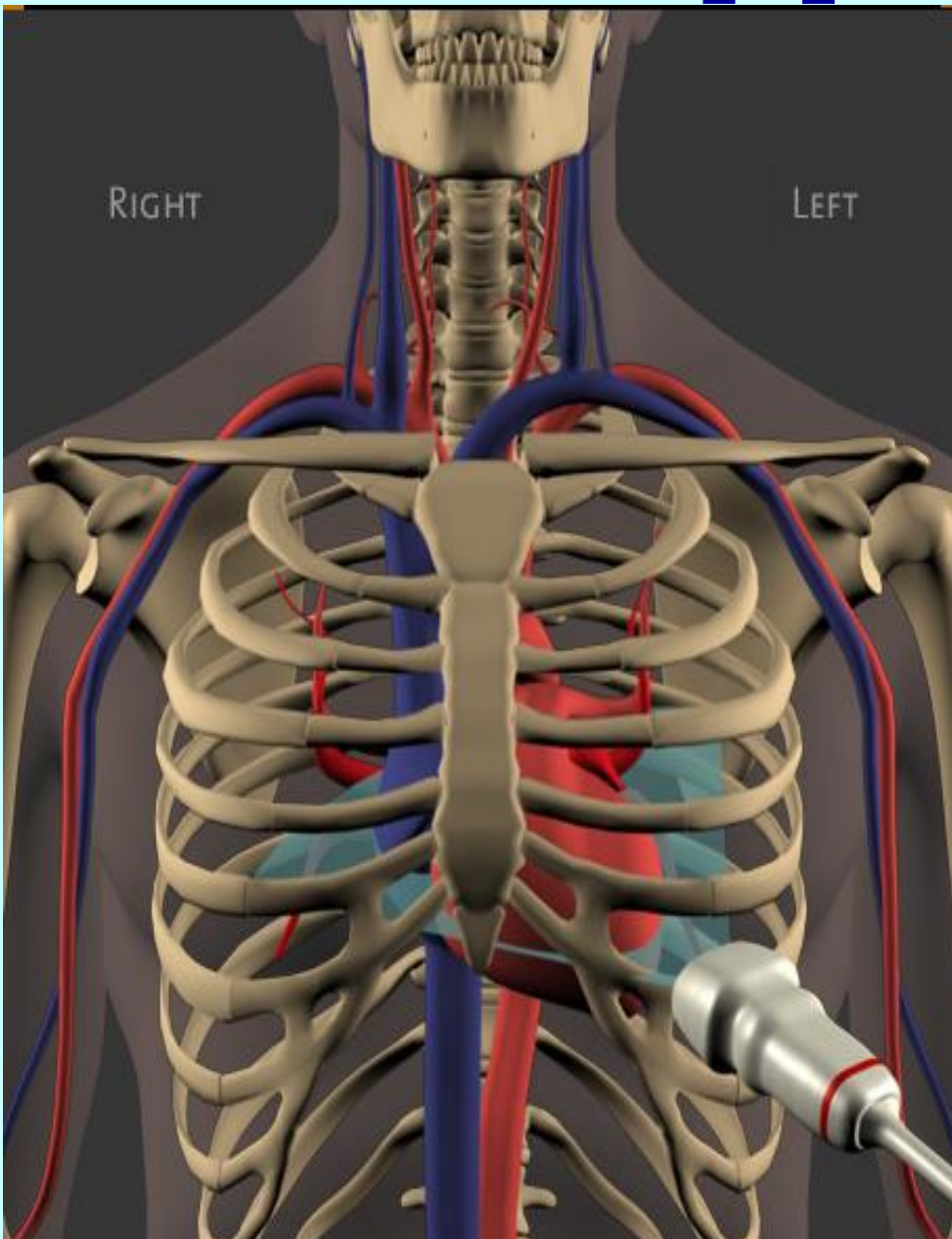
Контактна дія тупим УЗ-вим іструментом застосовується для **руйнування деяких новоутворень**. УЗ знайшов широке застосування в офтальмології. За його допомогою видаляють катаракту, досліджують форму та визначають розміри очного яблука.

УЛЬТРАЗВУК В МЕДИЦИНІ

УЗ знайшов застосування в стоматологічній практиці для **зняття зубного каменя**. Він дозволяє безболісно, безкровно, швидко видаляти зубний камінь та наліт з зубів. При цьому не травмується слизова оболонка та обеззаражуються «кармани» порожнини рота, а пацієнт замість болю відчуває почуття теплоти. Окрім того за допомогою УЗ можна руйнувати холестеринові бляшки в судинах – **внутрішньо-судинна соно-терапія**. Найбільше використання УЗ знайшов в кардіології, де застосовуються методи, які дозволяють не тільки візуалізувати серце та його окремі компоненти, наприклад, клапани, але і за допомогою **ефекта Доплера** спостерігати рух крові в серці та великих судинах.



ЕХОКАРДІОСКОПІЯ



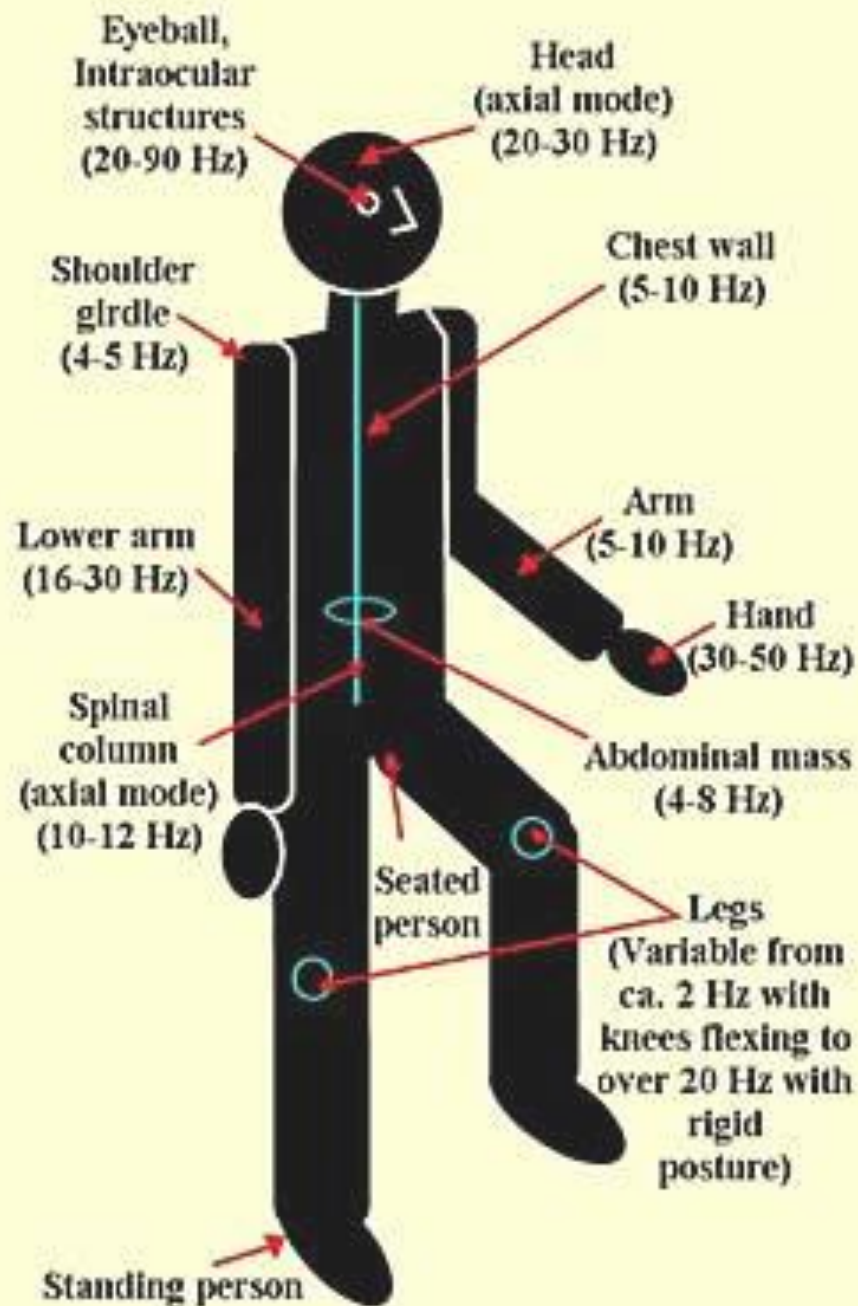
ЕХОСКОПІЯ ПЛОДУ

Virtual 4D Scan

Get a feel for the power and speed of 4D technology.

Instructions: Move the transducer over the patient to view a simulated 4D scan.





ІНФРАЗВУК

ВЛАСНІ (РЕЗОНАНСНІ) ЧАСТОТИ ДЕЯКИХ ЧАСТИН ТІЛА ЛЮДИНИ

- 20-30 Гц (резонанс голови)
- 40-100 Гц (резонанс очей)
- 0.5-13 Гц (резонанс вестибулярного апарату)
- 4-6 Гц (резонанс серця)
- 2-3 Гц (резонанс шлунка)
- 2-4 Гц (резонанс кишечника)
- 6-8 Гц (резонанс нирок)
- 2-5 Гц (резонанс рук)

РЕЗОНАНСНІ КОЛИВАННЯ МОСТІВ

