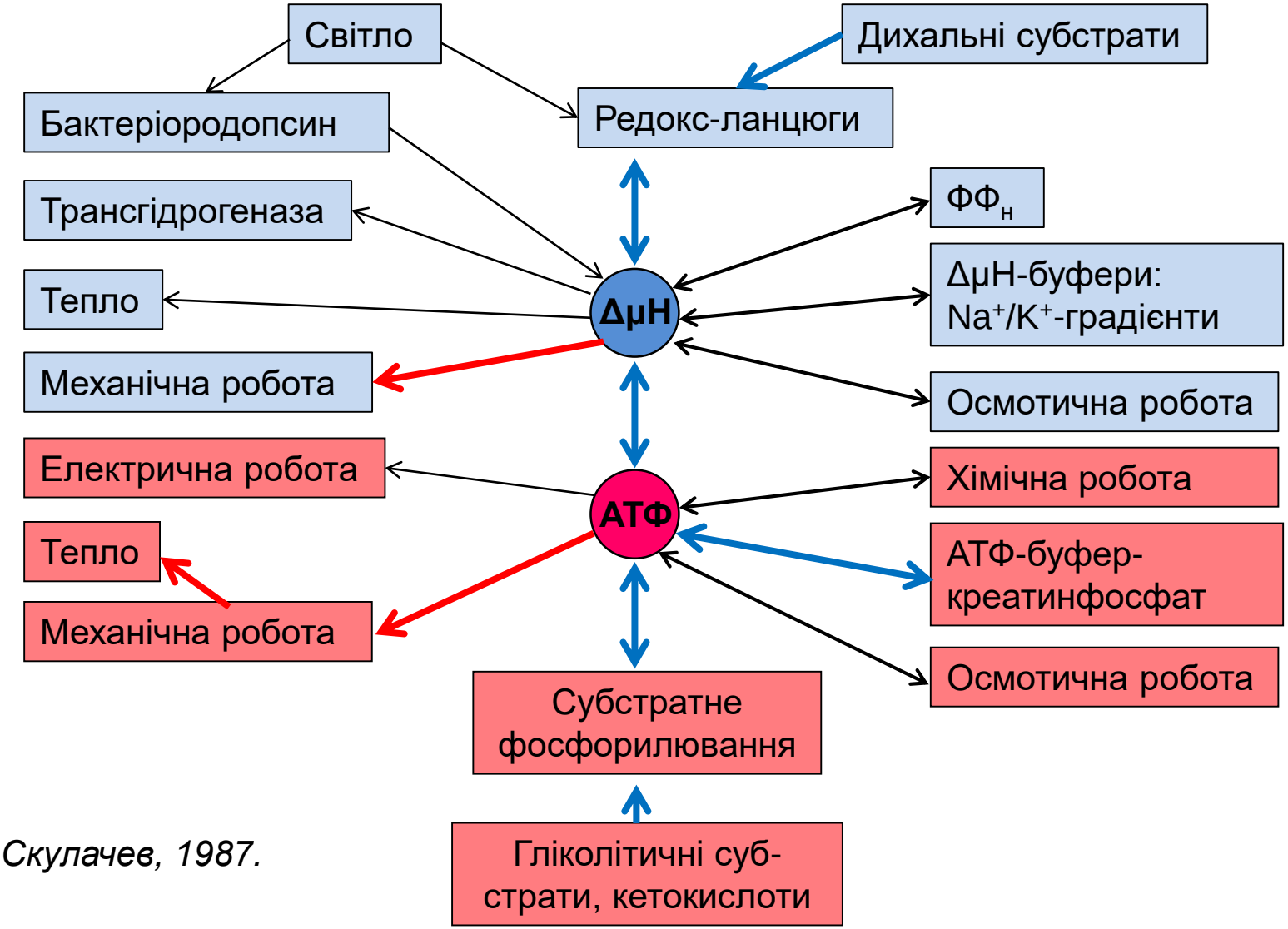
# Загальна схема енергетики клітини, що використовує АТФ і ΔμH в якості конвертованої форми енергії



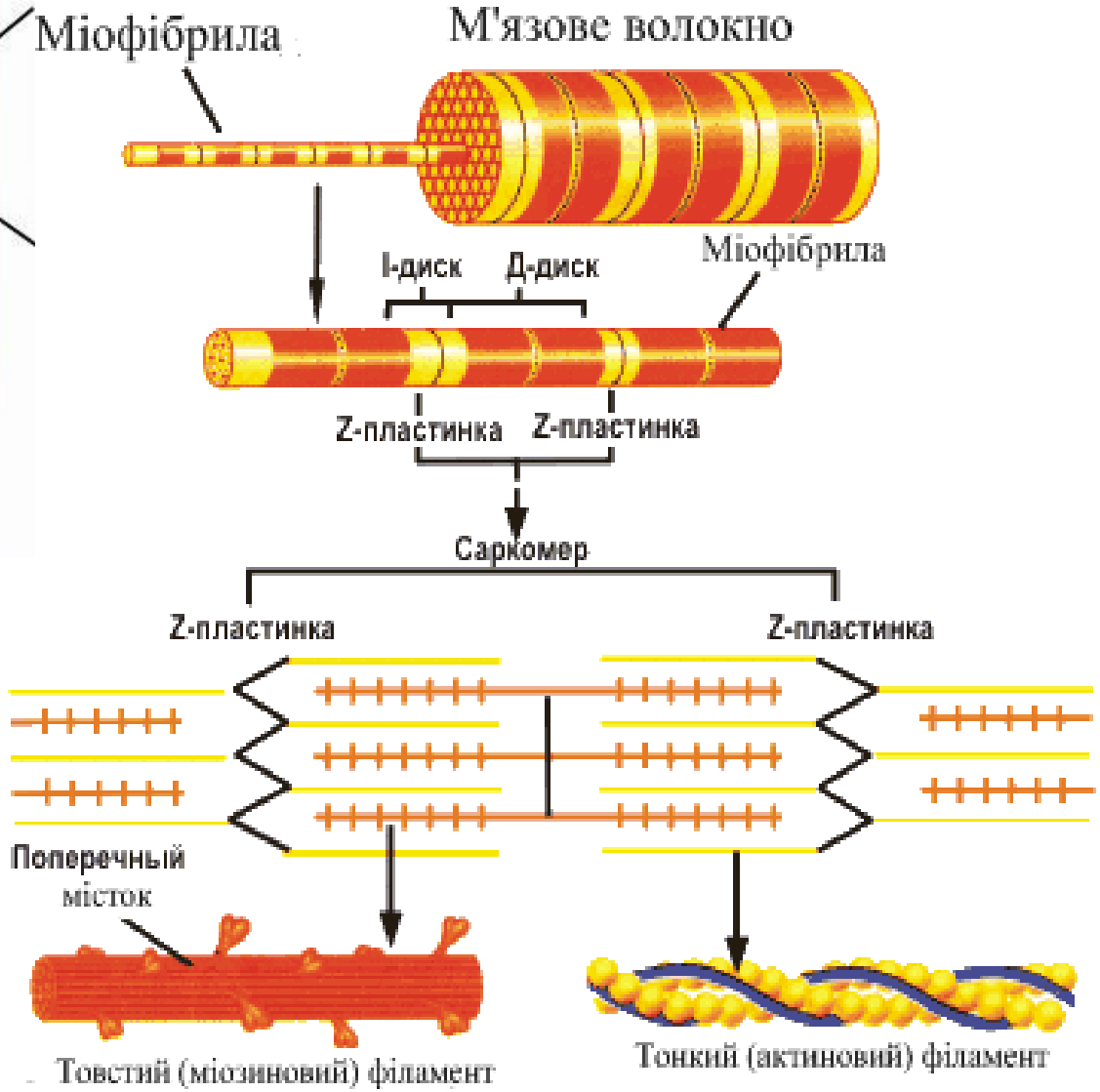

За: *Скулачев, 1987.*

# Тема: *Енергетика м’язового скорочення*

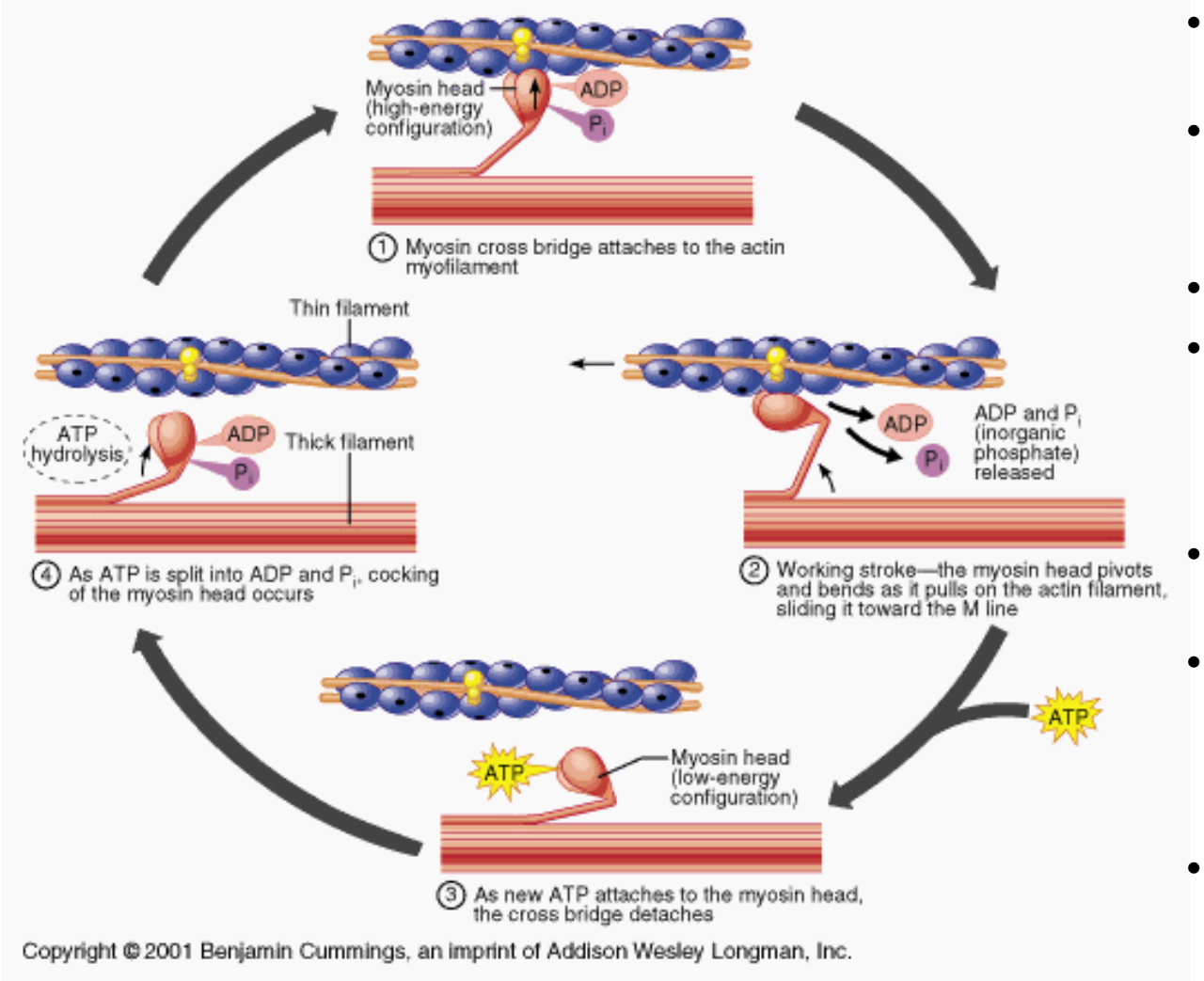
План

1. Енергетика скорочення скелетних м’язів
2. Джерела енергії для м’язової роботи:
   i. Гліколіз за м’язового скорочення
   ii. Гідроліз АТФ та окисне фосфорилювання
   iii. Роль фософокреатину
3. Теплопродукція м’язів

# Скорочувальна система м’язів

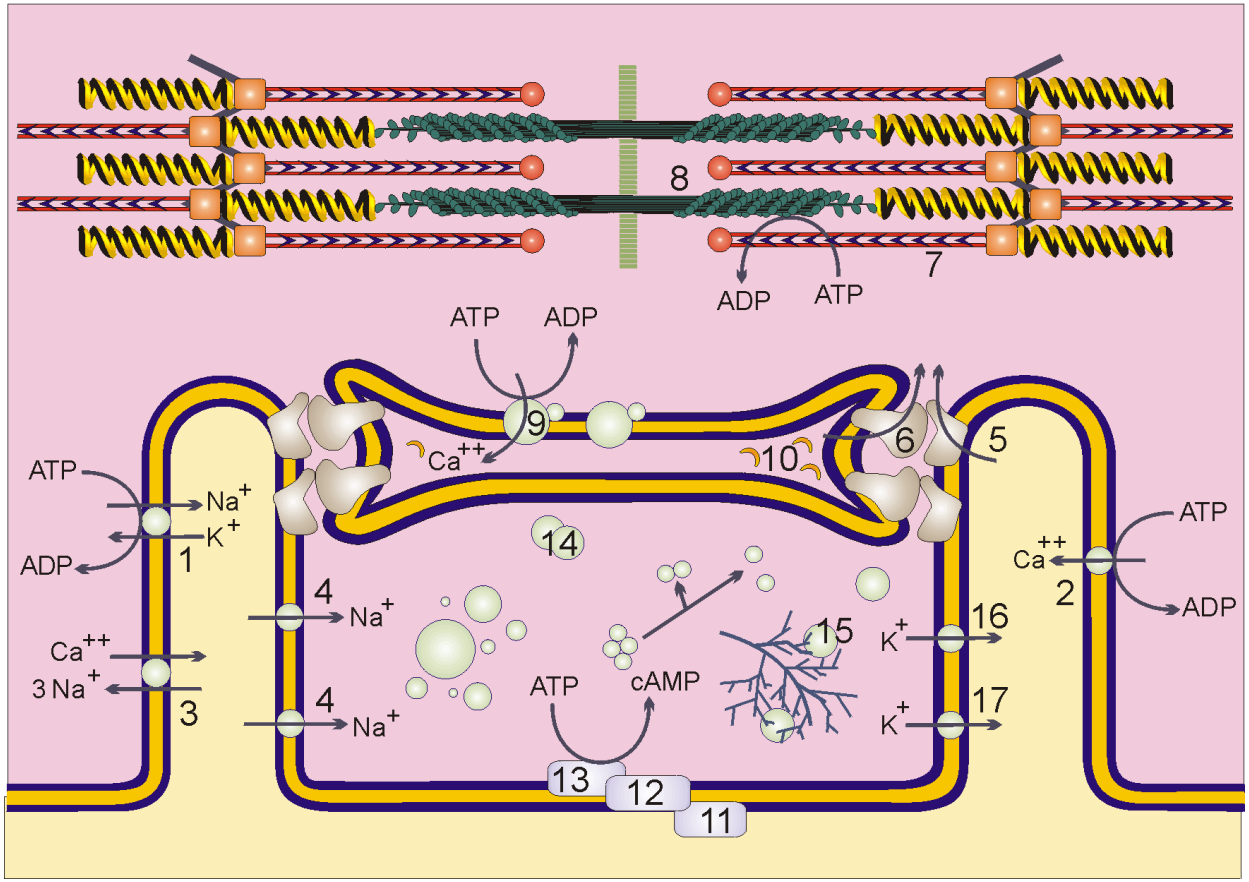


# Роль аденінових нуклеотидів у скорочення м’язів



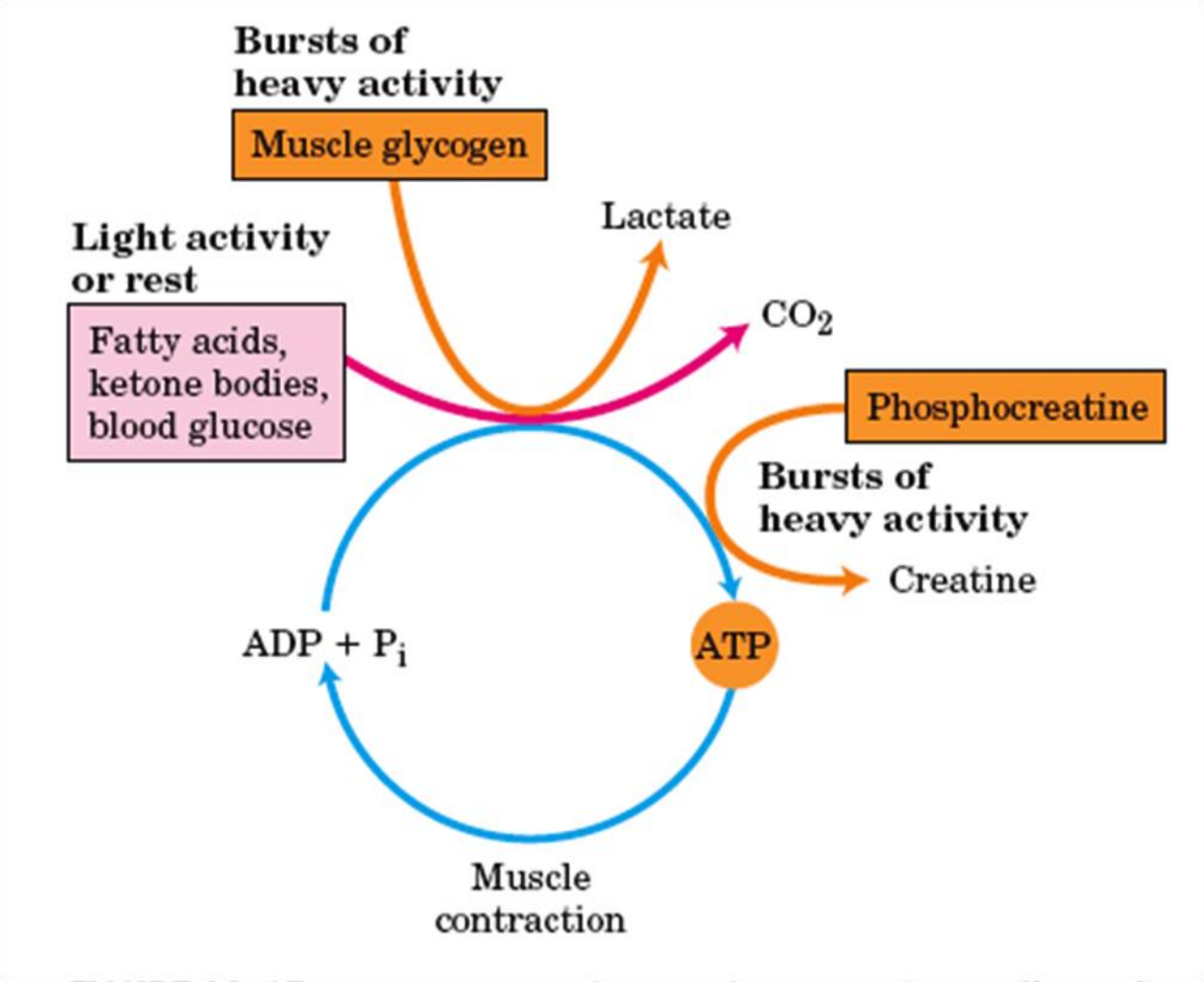

- АТФ зв’язується з голівкою міозину
- Голівка міозину відчіпляється від молекули актину
- АТФ гідролізується
- Голівка міозину повертається і зв’язується з новою субодиницею актину
- Вивільняється неорганічний фосфат
- Голівка міозину повертається, переміщуючи тонку протофібрилу
- Вивільняється АДФ

# Енергозалежні процеси у м’язовому волокні



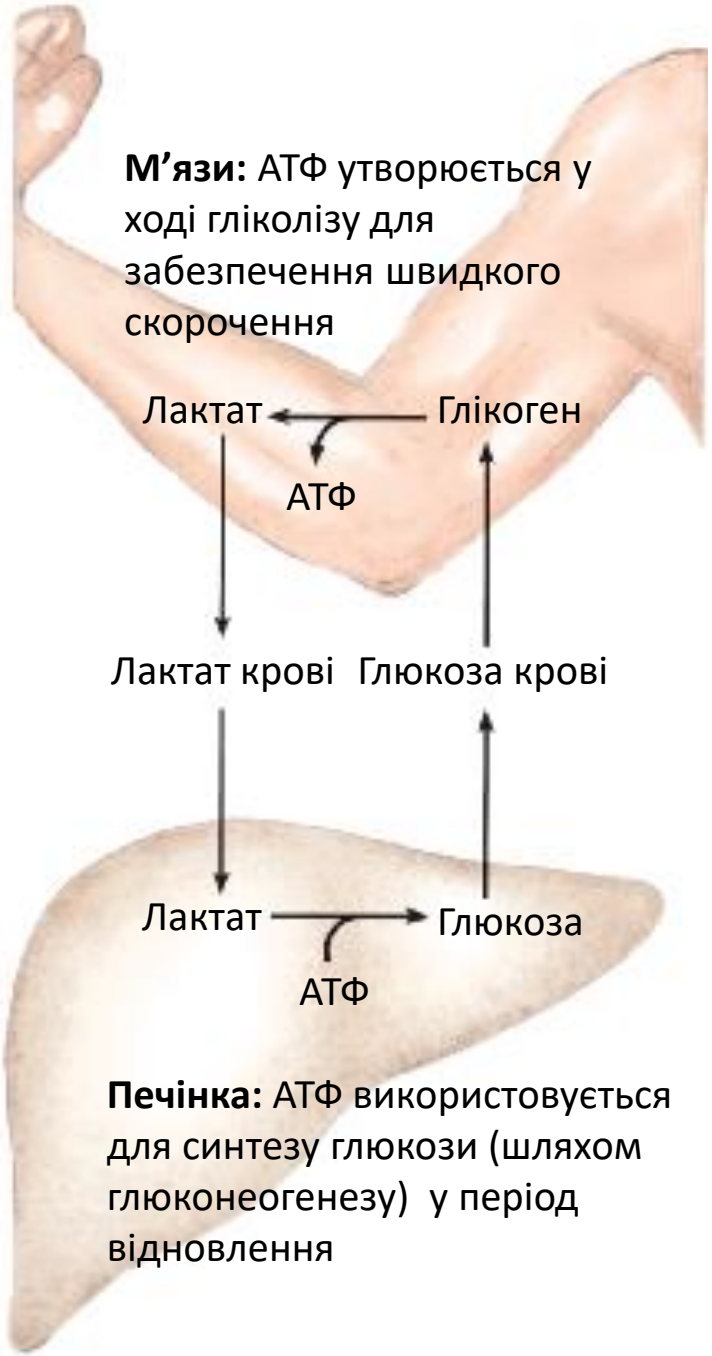

1 – $Na^+/K^+$-АТФаза, 2 і 9 - $Ca^{2+}$ -АТФази (помпи) плазматичної (*PMCA*) і саркоплазматичної мембрани (*SERCA*), 8 – актин-міозинова взаємодія, 13 – аденілатциклаза.

# Енергетичне забезпечення скорочення м’язів



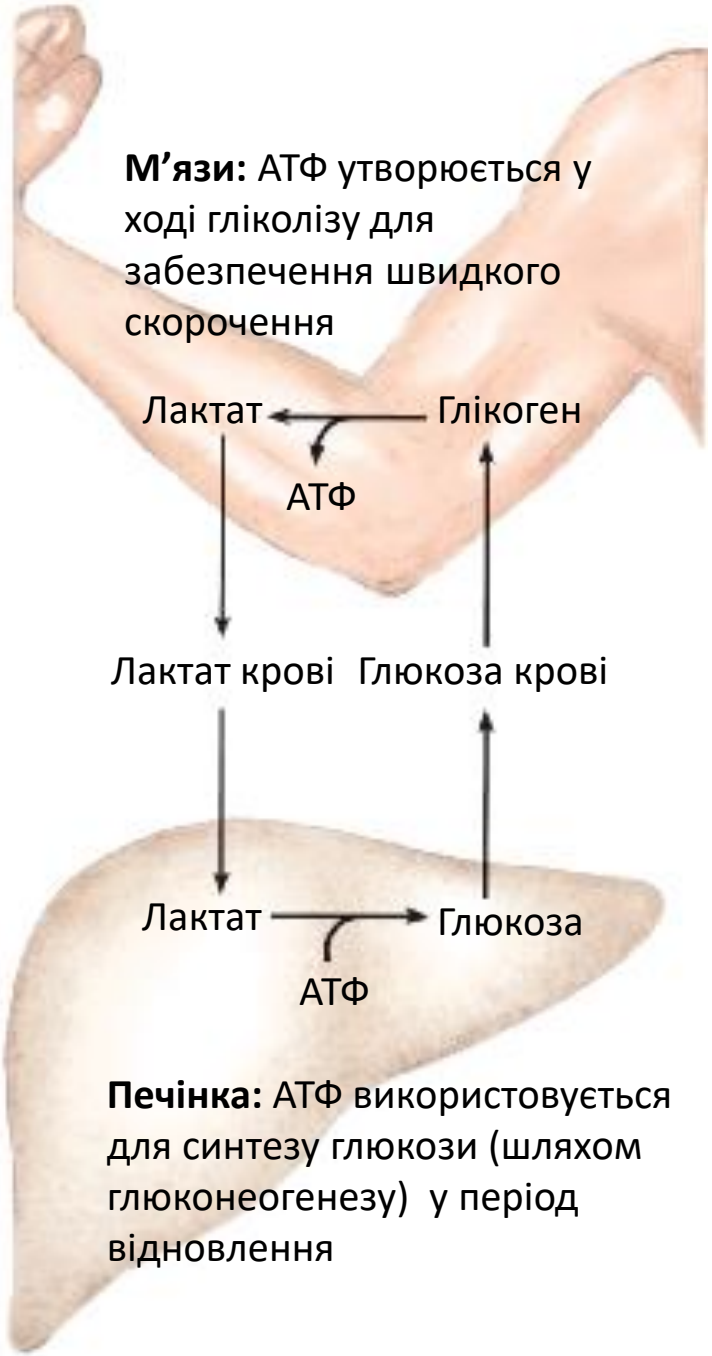

- Для синтезу АТФ у стані спокою, під час помірної активності та у періоди максимального навантаження використовуються різні види пального. АТФ може швидко утворюватись при розщепленні фосфокреатину.

# Метаболічне кооперування між скелетними м’язами і печінкою




- За максимального фізичного навантаження скелетні м’язи використовують у якості джерела енергії глікоген
- У відновлювальний період частина утвореного лактату переноситься у печінку, де використовується для синтезу ґлюкози шляхом глюконеогенезу
- Утворена глюкоза переходить у кров і надходить до м’язів, де використовується для відновлення запасів глікогену

# Метаболічне кооперування між скелетними м’язами і печінкою



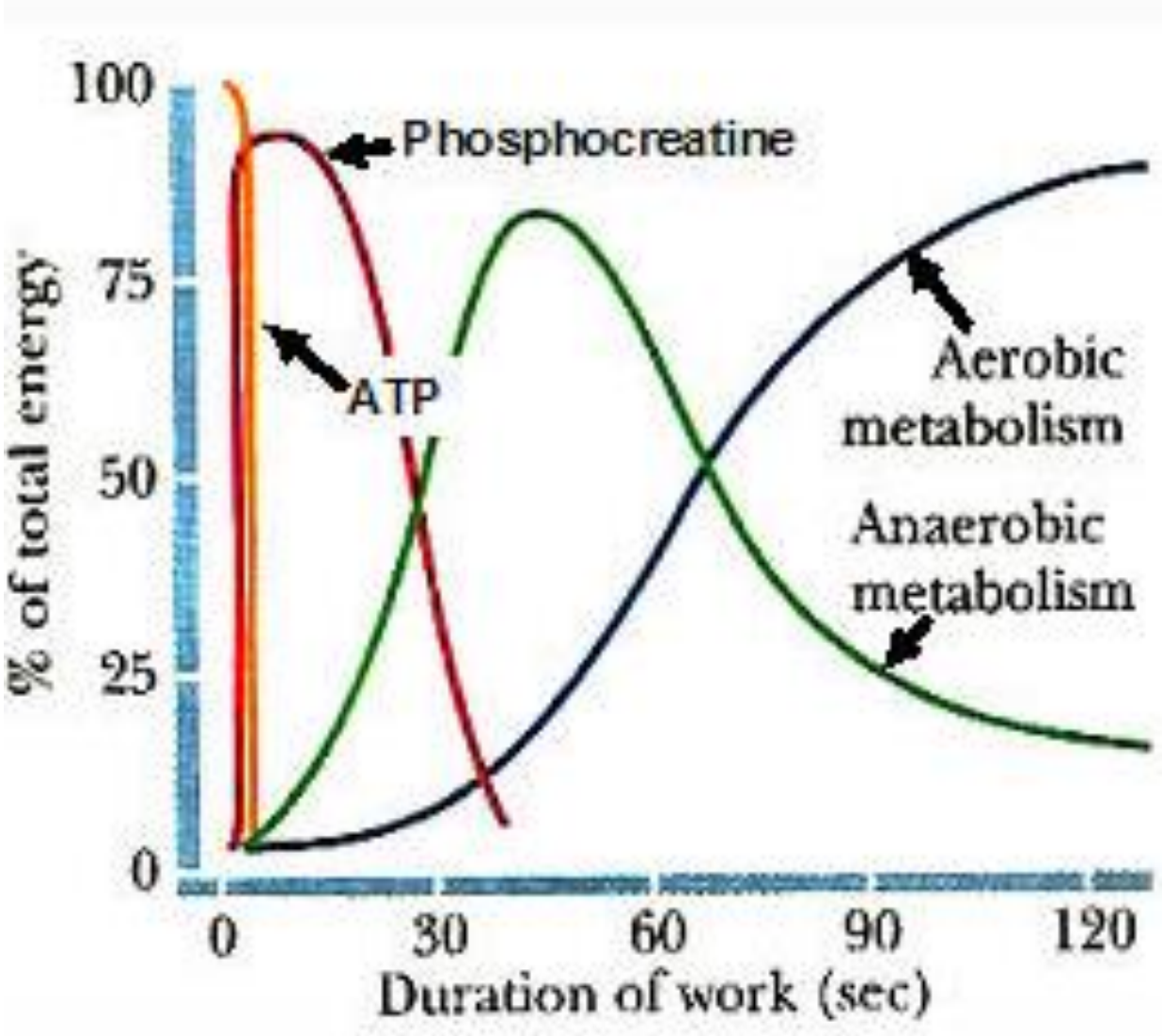

Цикл Корі

Тереза та Карл Корі
*Нобелівська премія з фізіології та медицини 1947 року*

# Гліколіз і киснева заборгованість у м’язах: атлети, алігатори та динозаври…

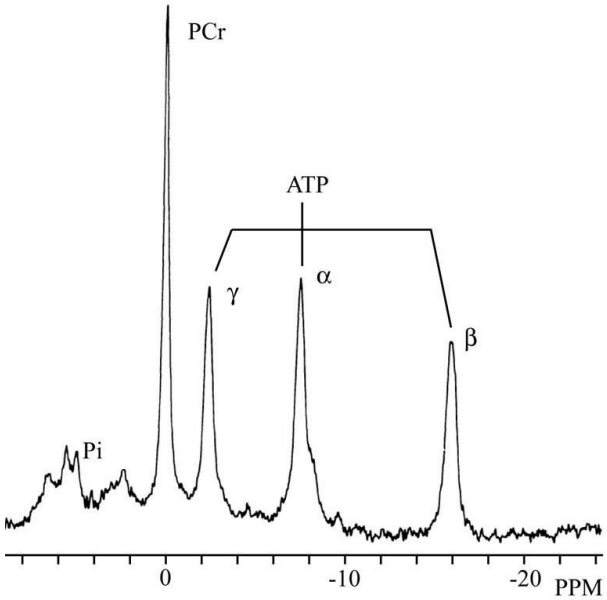
- У більшості хребетних енергія анаеробного перетворення глюкози до лактату використовується лише протягом короткого відрізку часу.
- Бурхливі спалахи активності у крокодилів та алігаторів є короткочасними і супроводжуються довгим періодом відновлення.
- Процес молочнокислого бродіння був, скоріш за все, джерелом постачання енергії для роботи м’язів і у динозаврів.

# Основні джерела енергії у перші секунди роботи м’язів



# Енергетика роботи серця

$^{31}$P ЯМР



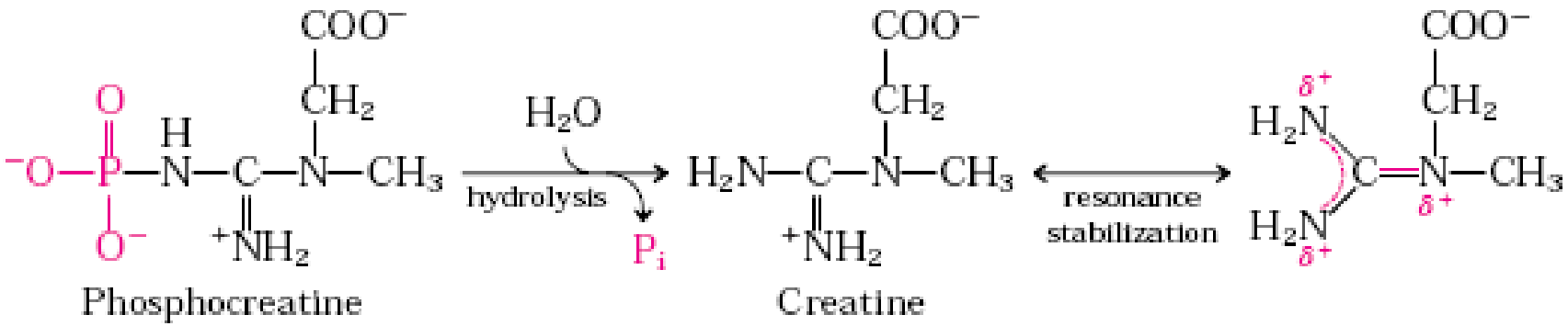

Міокард для синтезу АТФ використовує переважно окисне фосфорилювання за окиснення жирних кислот. Кардіоміоцити не мають значних депо ліпідів чи глікогену, а як резервне джерело енергії використовують креатинфосфат.

# Концентрація аденінових нуклеотидів та фосфокреатину у деяких клітинах

| Концентрація (мМ) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | АТФ | АДФ* | АМФ | $Ф_н$ | ФК |
| Гепатоцити щура | 3,38 | 1,32 | 0,29 | 4,8 | 0 |
| Міоцити щура | 8,05 | 0,93 | 0,04 | 8,05 | 28 |
| Нейрони щура | 2,59 | 0,73 | 0,06 | 2,72 | 4,7 |
| Еритроцити людини | 2,25 | 0,25 | 0,02 | 1,65 | 0 |
| Клітини E. Coli | 7,90 | 1,04 | 0,82 | 7,9 | 0 |

# Гідроліз фосфокреатину

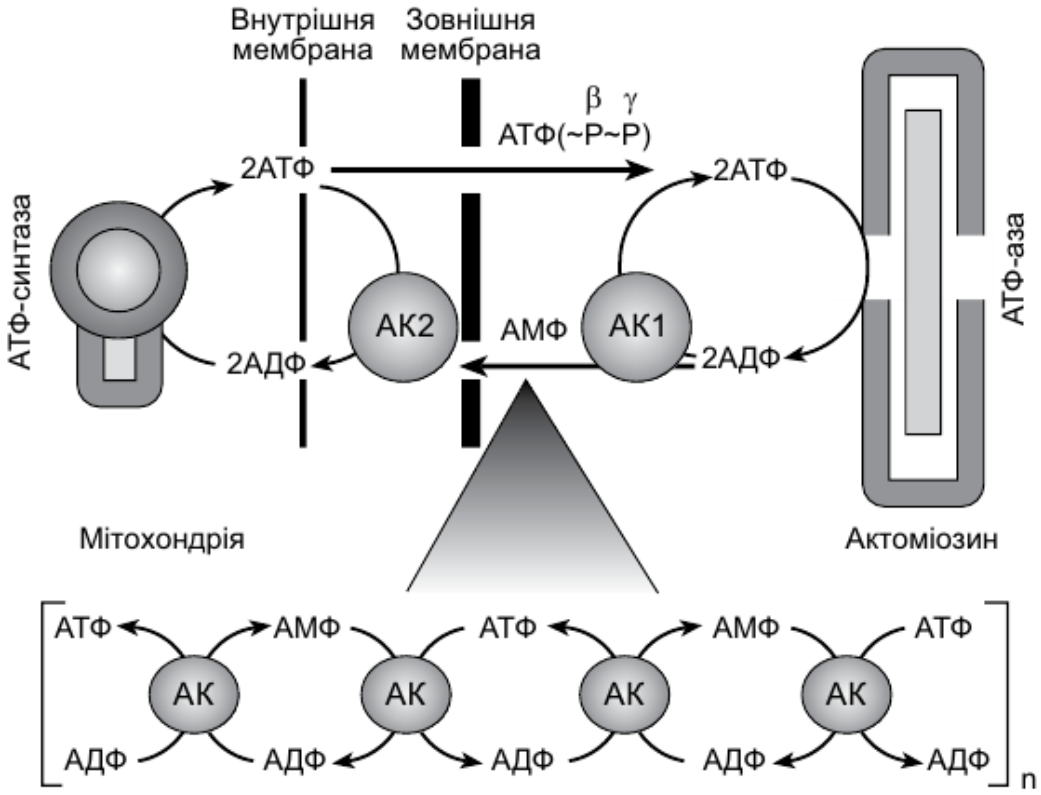
$$\xrightarrow[\text{during recovery}]{\text{during activity}}$$




$$\text{Phosphocreatine}^{2-} + H_2O \longrightarrow \text{creatine} + P_i^{2-}$$
$$\Delta G'^{\circ} = -43.0\ \text{kJ/mol}$$

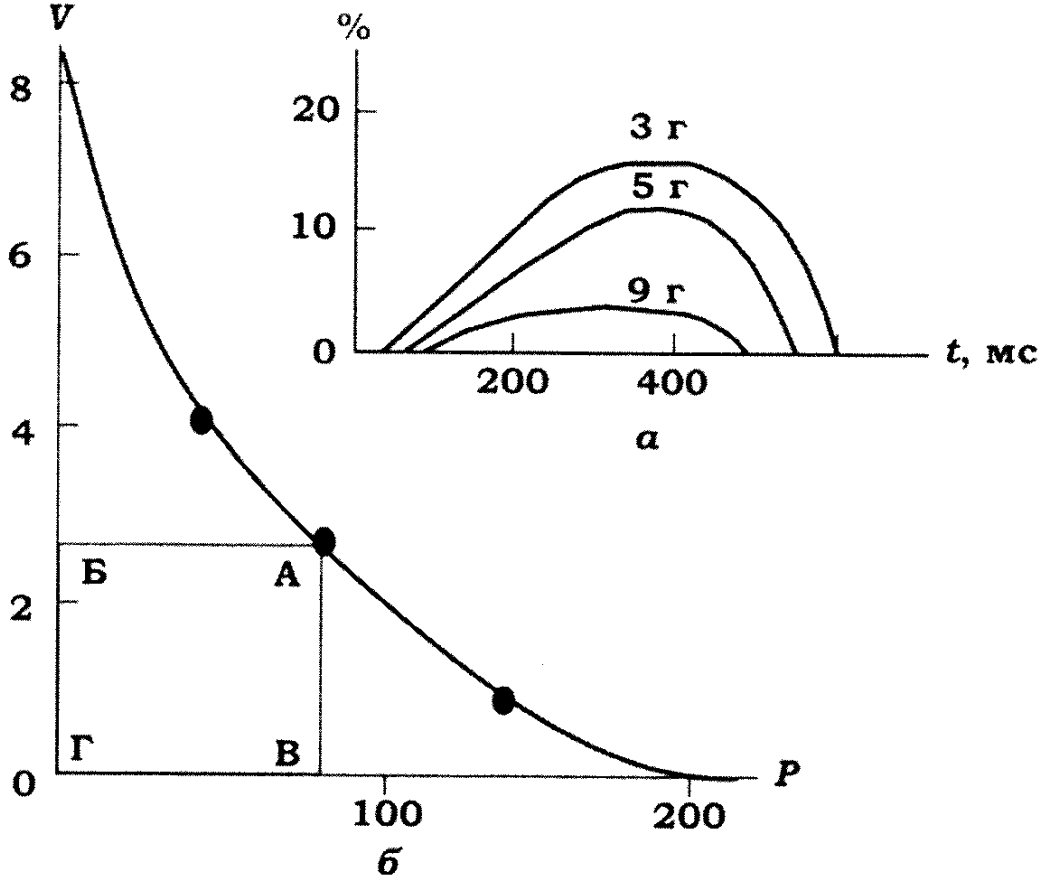
- При розщепленні зв’язка P-N у складі фосфокреатину утворюється креатин, який набуває структури резонансного гібриду і стає більш стабільним.
- Інший продукт реакції, $Ф_н$, також зазнає резонансної стабілізації.

# Цитозольна (АК1) і мітохондріальна (АК2) аденілаткіназа під час генерування та використання АТФ у м’язах




Аденілаткіназа та АМФ беруть участь у метаболічній сигналізації, регулюванні клітинної енергетики і передаванні сигналу до метаболічних сенсорів. У м’язах аденілаткіназна реакція є додатковим джерелом енергії, а АМФ активує фосфофруктокіназу, що збільшує швидкість гліколізу. Коли потреба в АТФ зменшується, аденілаткіназа каталізує утворення АДФ з АТФ і АМФ.

# Поодиноке ізотонічне вкорочення й крива сила - швидкість




**а.** Поодиноке ізотонічне вкорочення за різних навантажень *P* (ізотонічне вкорочення, % від початкової довжини)

**б.** Залежність швидкості вкорочення м'яза *V* від величини навантаження *P* за ізотонічного вкорочення (крива сила – швидкість), м × $с^{-1}$. Площа АБВГ – оптимальна потужність м'яза за швидкості вкорочення 2,5 м × $с^{-1}$.

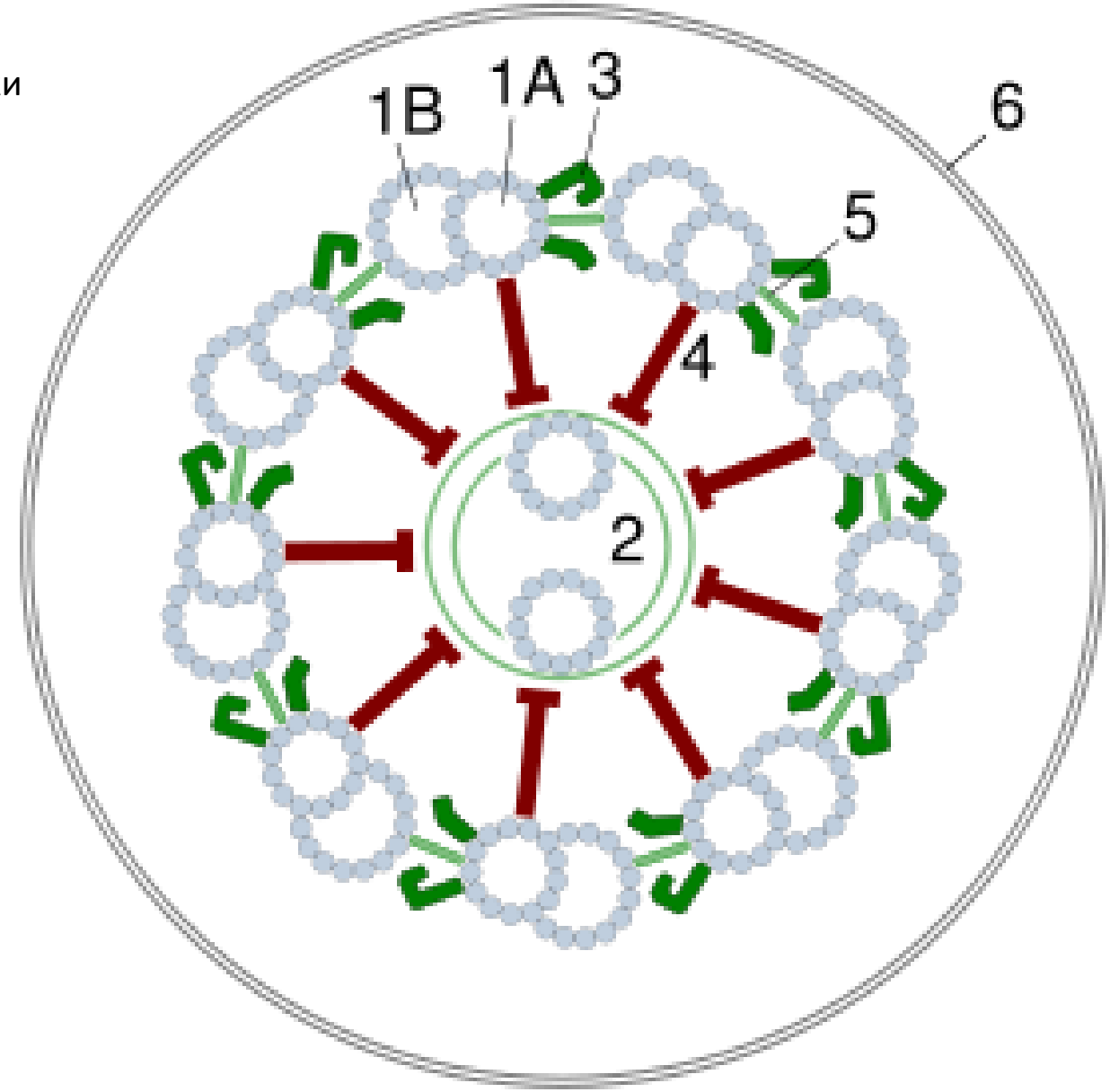
Коефіцієнт корисної дії м'язів:

$$ККД = \frac{A}{A+Q},$$

де $A$ – виконана робота, а $Q$ – виділене тепло.

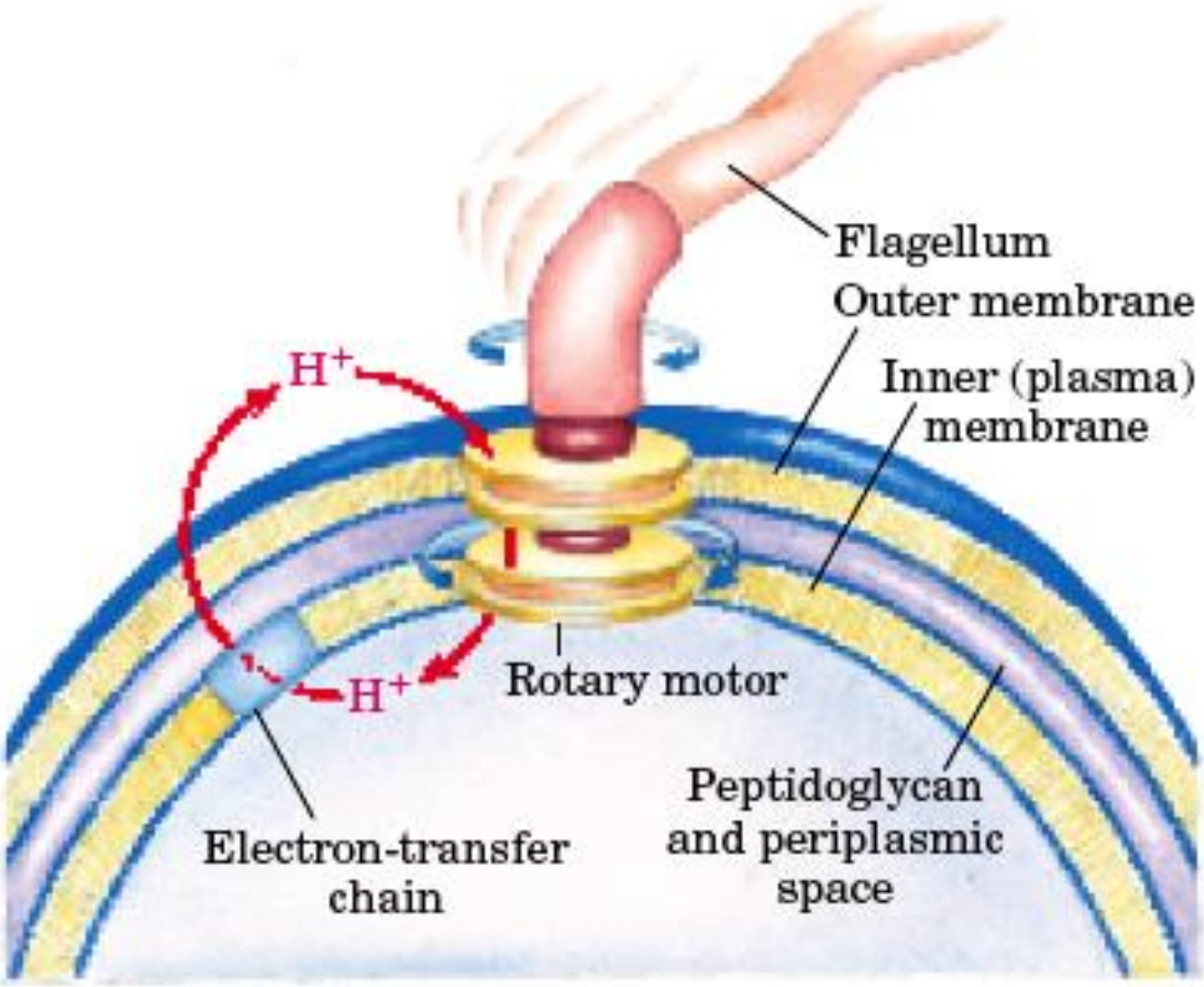
# Схема будови аксонеми джгутика еукаріот

**1A** і **1B** — А і В мікротрубочки периферичного дубпету;
**2** — центральна пара мікротрубочок і центральна капсула;
**3** — динеїнові ручки;
**4** — радіальна спиця;
**5** — нексиновий місток;
**6** — клітинна мембрана.




У клітинах еукаріот, які мають джгутики або війки, рух забезпечують мікротрубочки завдяки АТФ-азній активності динеїну

# «Протонні турбіни»: обертання бактеріального джгутика завдяки протонрушійної силі



# Додаткова література


1. Lehninger Principles of Biochemistry (2012). Fourth Edition. David L. Nelson, Michael M. Cox.
2. Фізіологія людини і тварин (фізіологія нервової, м’язової і сенсорних систем): підручник: [для студ. вищ. навч. закл.] / М. Ю. Клевець, В. В. Манько, М. О. Гальків, та ін. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. – 304 с.
3. Скулачев В. Рассказы о биоэнергетике. М.: Молодая гвардия, 1985.
4. Sheikh et al. *J Clin Invest.* 2012 April 2; 122(4): 1209–21.