

Лекція 6.

Біомеханічні особливості м'язового скорочення**1. Біомеханіка м'язового скорочення. Основні біомеханічні показники роботи м'яза.**

Як уже підкреслювалось, живий скелетний м'яз людини - надзвичайно складне утворення: він демонструє свої механічні характеристики лише у випадку його підключення до системи кровообігу та центральної нервової системи, причому зовнішня подібність його поведінки до механічних властивостей неживих матеріалів обумовлена зовсім іншими і набагато складнішими внутрішніми причинами.

Тому говорити про традиційні механічні властивості матеріалів (як то пружність, твердість, в'язкість, міцність, текучість і т.ін.) відносно живих м'язів людини - просто некоректно. Порівняйте: говорити про міцність чи текучість комп'ютера або твердість чи міцність на розрив електронних деталей.

У біомеханіці розглядають два основні біомеханічні показники роботи м'яза: *силу тяги на його кінцях та швидкість його скорочення.*

Основна функція м'язів - це перетворення хімічної енергії макроергічних сполук у механічну роботу (так звана механо-хімічна реакція). Скорочення м'язів відбувається внаслідок взаємодії актинових та міозинових міофіламентів. Активатором механохімічної реакції є іони кальцію. Енергія для роботи поперечних мостиків молекули міозину постачається АТФ.

Розглядаючи будову скорочувальних елементів скелетного м'яза людини, можна зауважити, що він складається з окремих м'язових пучків, пучки - з волокон (кільця довжиною від кількох мм до 10-ти і більше см), а волокна - з міофібрил - тонких ниток товщиною 2 мкм. Міофібрили поділяються на товсті нитки - молекули міозину і тонкі нитки - білкові молекули актину. Поперечні "z-мембрани" розділяють міофібрили на маленькі волокна - саркомери - елементарні утворення м'яза, що проявляють його властивість скорочуватись (приблизно на 20 %, або на 5 мкм).

Коли N саркомерів діють паралельно (рис. 1), тоді:

$$F = F_{\text{сарк.}} \times N, \quad \text{а} \quad V = V_{\text{сарк.}},$$

де F - сила тяги всього пучка;
 $F_{\text{сарк.}}$ - сила тяги одного саркомера;
 V - швидкість скорочення всього пучка;
 $V_{\text{сарк.}}$ - швидкість скорочення одного саркомера.

Коли N саркомерів діють послідовно (рис. 2), тоді:

$$F = F_{\text{сарк.}}, \quad \text{а} \quad V = V_{\text{сарк.}} \times N.$$

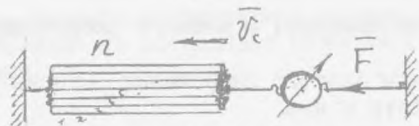


Рис. 1. Розрахункова схема "м'язів", утвореного з N саркомерів, що діють паралельно.

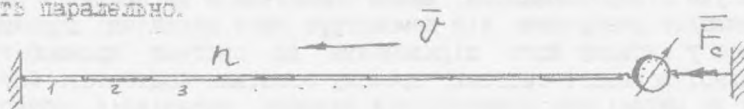


Рис. 2. Розрахункова схема "м'язів", утвореного з N саркомерів, що діють послідовно.

Це дозволяє нам зробити висновок, що збільшення фізіологічного перетину м'язів приводить до зростання сили його тяги без зміни швидкості скорочення, і навпаки - збільшення довжини м'язів приводить до збільшення швидкості скорочення без зміни сили тяги.

2. Залежність сили тяги м'язів від його довжини

Практика показує, що найбільшу силу тяги м'яз проявляє при певній оптимальній довжині. Ця довжина називається довжиною спокою. Пояснюється це експериментальними даними, одержаними при виміщенні скорочення м'язового волокна (див. Рис. 3).

Р, відносне зусилля

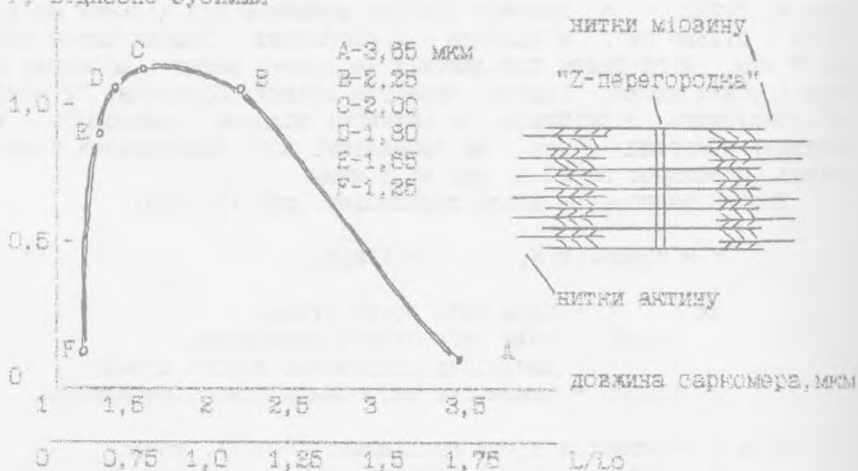


Рис. 3. Вплив довжини саркомера на напруження, що розвивається окремими м'язовими волокнами та схема перекриття міозинових та актинових ниток при різній довжині саркомера (по А. Гордон, 1962).

При великій довжині м'яза (т. А) перекриття ниток актину та міозину мале, тому мала кількість мостиків, утворених між ними при активації м'яза, які "тягнуть" (а). При малій довжині м'яза (Г) нитки актину впираються в "Z-перегородки" молекул міозину і сила тяги різко падає. Точки В, С, Д і Е відповідають максимальному перекриттю актинсвих та міозинсвих ниток переважної більшості саркомерів м'яза; ця довжина м'яза і є довжиною споккою, яка відповідає максимальній силі тяги.

Крива а) на рис. 4 і відображає силу активної тяги скелетного м'яза людини залежно від його довжини. Крива в) показує вплив пасивному розслабленню м'яза зовнішньою силою. Крива с) є сумою кривих а) і в) - с) = а) + в) - і відображає реальну залежність сили тяги м'яза від його довжини.

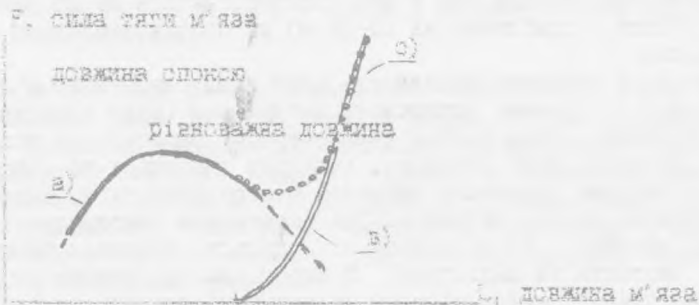


Рис. 4. Залежність сили тяги м'яза від його довжини.

Чим більше у м'яза з'єднувальної тканини, тим менша її різноважна довжина; тому характер кривої с) може бути дещо іншим (див. рис. 5), це особливо характерне більшості м'язів нижніх кінцівок.

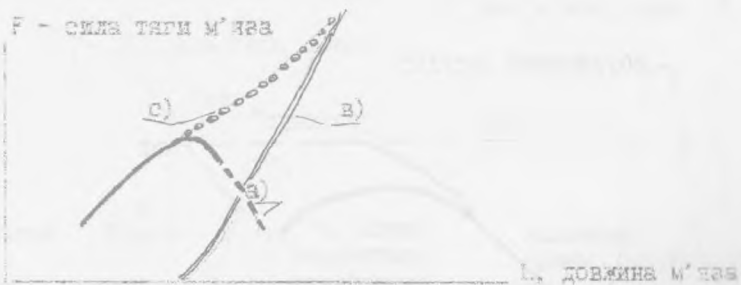


Рис. 5. Залежність сили тяги м'язів з великою кількістю з'єднувальної тканини від довжини.

Тобто, збільшення максимальної сили тяги м'язів при їх великій довжині обумовлене не активною тягою саркомерів, а їх попереднім пасивним розтягом за рахунок зовнішніх сил (наприклад, силами інерції біологічного тіла спортсмена або інерцією спортивних приладів).

3. Залежність сили тяги м'язів від часу

Сила тяги на кінці м'язів з'являється не відразу після виникнення сили у скорочувальних елементах, а через деякий час, поки не розтягнуться послідовні пружні компоненти м'язів. Записані експериментально електроміограми м'язів нижніх кінцівок бігунів показали, що електрична активність у них спостерігається ще до початку активної роботи - приблизно за 18-25 мс до постановки стопи на опору поверхні.

На рис. 6 показана залежність сили тяги скелетного м'яза людини від часу. У режимі одиночного скорочення (один електричний імпульс збудження) сила тяги м'язів поступово зростає, а потім зменшується до нуля. Якщо збуджувальні імпульси подаються на м'яз один за одним, м'яз може розвивати набагато більшу силу тяги, скорочуючись у так званому режимі тетануса. Для досягнення максимальної сили чи найкращої швидкості її зростання ці імпульси повинні бути певної форми, частоти та амплітуди. У висококваліфікованих спортсменів вміння керувати своєю м'язовою за рахунок досконалих збуджувальних імпульсів значно вище, ніж у новачків. Крім цього, їхні м'язи завдяки багаторічному тренуванню збуджуються значно краще, періоди розслаблення (а, значить, і витривалість спортсмена) зростають, м'язи включаються і виключаються з роботи дуже вчасно (таку зладжену картину м'язової роботи деяко називають "м'язовим ансамблем").

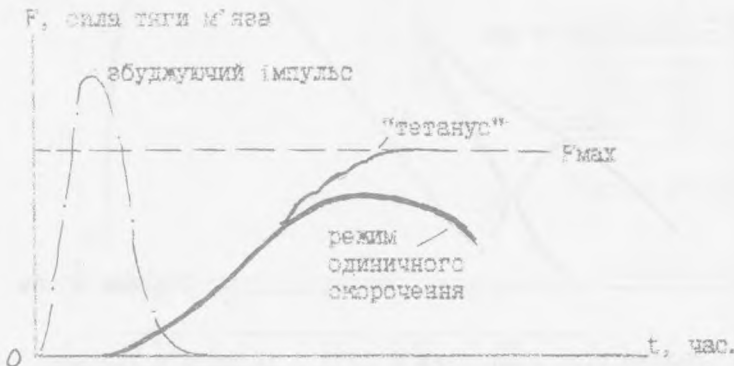


Рис. 6. Залежність сили тяги м'язів від часу.

Звичайно максимальної сили тяги в режимі тетаничного скорочення скелетні м'язи людини досягають приблизно через 1 секунду після початку їх збудження. Тому при виконанні більшої фізичної праці м'язи не досягають своєї максимальної сили тяги, а для виконання деяких дій, як уже згадувалось вище, м'язи починають активуватися завчасно перед виконанням роботи. Для практики спорту вміння спортсмена швидко народувати силу тяги м'язів часто має більше значення, ніж максимальна сила.

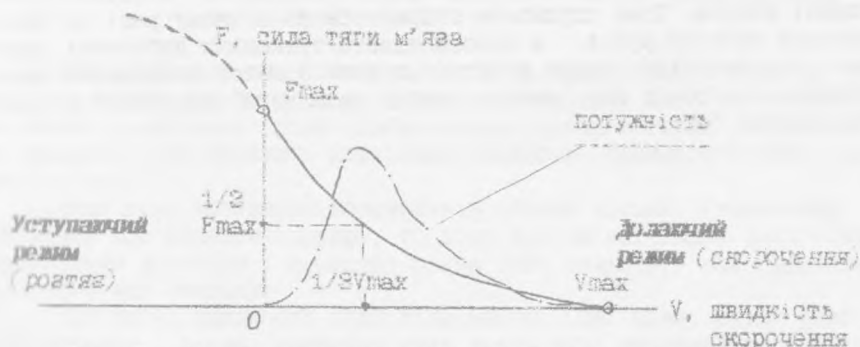
Механічні показники скорочення м'яза залежать від зовнішнього навантаження, із збільшенням якого зростає латентний час реакції, зменшується величина скорочення, падає швидкість скорочення.

4. Залежність сили тяги м'яза від швидкості його скорочення (крива Хілла)

Залежність сили тяги від швидкості скорочення м'яза надзвичайно важлива, адже добуток сили на швидкість дає потужність його роботи - основний показник при виконанні спринтерської роботи. Істотний внесок у вивчення згаданої залежності зробив відомий спортивний легкоатлет і вчений А. В. Хілл (1938 р.), зменшення якого часто називають залежністю "сила тяги - швидкість скорочення м'яза". Між цими показниками роботи м'яза - обернено-пропорційна залежність, яка може бути описана формулою:

$$(F - a) \times (V - b) = (F_0 - a)b = \text{const},$$

де F - сила тяги на кінці м'яза;
 V - швидкість скорочення м'яза;
 F_0 - максимальна ізометрична сила;
 a та $b = \text{const}$ - сталі величини.



Фиг. 7. Залежність сили тяги м'яза від швидкості його скорочення (крива Хілла)

Як видно з рис. 7, максимальну потужність м'яз людини розвиває в режимі скорочення з швидкістю, що становить третину від максимальної. При цьому сила тяги на його кінцях також становить приблизно третю частину від максимальної ізометричної сили. У випадку максимальної швидкості скорочення чи максимальної сили тяги м'язів (які, згідно кривої Хілла, ніколи не можуть виникнути одночасно), потужність його роботи рівна нулю, що пояснюється формулою для розрахунку потужності скорочення м'язів:

$$N = F \times V \quad [Вт]$$

Максимальна економічність м'язової роботи спостерігається при швидкості його скорочення, рівній двадцяти відсоткам від V_{max} : у виваженому режимі співвідношення енерговитрат м'язів на виконання зовнішньої роботи і її розвивання при теплоутворенні - найбільше.

Хоча для функціональних м'язових груп залежність сили тяги від швидкості їх скорочення (особливо на "краях" характеристики) не зовсім відповідає зображеній на рис. 7, проте в основному її загальний характер зберігається, що активно використовують спортсмени, виконуючи різні фізичні зправи. Наприклад, велосипедисти-спринтери використовують частоту педалювання 185-190 об/хв, в той час як їх колеги-стайери надають перевагу частоті 56-87 об/хв, що при максимальній частоті педалювання на велоергометрі без навантаження (яка досягає 240 об/хв), являє відповідне значення 1/8 (20%) від V_{max} . Подібна картина спостерігається в інших видах спорту (плавання, лижних перегонках, веслуванні тощо), де на різних дистанціях приходить вирішувати конкретно спринтерські або стайерські рухові завдання.

Розрахунок додаткових енерговитрат на переміщення біологічних показує, що при частоті рухів, яка відповідає швидкості скорочення м'язів 1/8 від максимальної, потужність переміщення біологічного тіла у більшості випадків значно перевищує потужність корисної зовнішньої роботи. Тому спринтери стараються ні в якому разі не перевищувати частоту рухів, а велосипедисти-трековики вибирають завищене передавальне число трансмісії лише в метох підвищення ефективності стартових дій (внесок яких у загальний спортивний результат досягає 80%).

Лекція 7

Віодинаміка рухових дій

1. Маса, сила тяжіння, вага та сила інерції.

Така властивість матеріального тіла, як маса, може проявлятися контактно (при безпосередній взаємодії тіл) або дистантно - при відштовхуванні чи притягуванні тіл на віддалі за рахунок електромагнітних, гравітаційних та інших сил). При контактній взаємодії тіл маса є мірою інертності тіла (інерційна маса) і вимірюється вона в кілограмах (кг). У випадку обертового руху тіла значення має не лише його маса, а й її локалізація відносно осі обертання, тому мірою інертності тіла в цьому випадку виступає момент інерції (див. лекцію 8):

$$J \approx \sum_{i=1}^n m_i \cdot r_i^2 \quad [\text{кг} \cdot \text{м}^2]$$

де m_i - елементарна маса, кг;

r_i - віддаль маси m_i до осі обертання, м.

У випадку взаємного притягування тіл силами гравітації (наприклад: притягування тіла спортсмена до Землі) гворять про гравітаційну масу, яка при швидкостях руху, менших від швидкості світла у вакуумі чисельно рівна інерційній масі, і також вимірюється в кілограмах. Сила притягування якогось тіла масою до Землі визначається за формулою:

$$\vec{P} = m\vec{g} \quad [\text{Н}]$$

де \vec{P} - сила тяжіння, спрямована завжди до центра Землі та прикладена до тіла;

\vec{g} - прискорення вільно падаючого тіла на даній довготі та широті (рівне $9,78 \text{ м/с}^2$ на екваторі та $9,82 \text{ м/с}^2$ на полюсах).

Таким чином, сила тяжіння, як міра притягування тіла до Землі, залежить від його маси (яка є незмінною) і його розташування відносно рівня моря (тіла слабше притягуються в горах і сильніше - в низинах) і не залежить від інших факторів (параметрів руху, опори і т. ін.).

Якщо тіло контактно взаємодіє з іншими тілами (наприклад, з верхньою або нижньою опорою), то воно діє на них силою вази - вага прикладена до опори і в спокої рівна силі тяжіння, але спрямована в протилежну сторону.

При зміні швидкості руху тіла масою (це може бути розгін, гальмування, зміна напрямку руху тощо) воно проявляє свою інертність шляхом протидії зміні швидкості. Сила інерції, з якою воно