

## Біомеханічні аспекти витривалості і гнучкості

### 1. Ергометрія. Правило оборотності рухових завдань.

*Ергометрією* називається сукупність чисельних методів оцінки фізичної роботоздатності людини.

Будь-які *рухові завдання* завжди задаються однією з трьох перемінних:

- *інтенсивністю* (швидкість руху, темп, потужність роботи або величина сили);
- *обсягом* (дистанція, виконана робота або імпульс сили);
- *часом виконання*.

Ці показники, що використовуються при вимірюванні фізичної роботоздатності людини, називаються *ергометричними*. Один з них *задається*, а два інші – *вимірюються*. Якщо величини інтенсивності, обсягу та часу відповідають одне одному, то, як доведено експериментально, при різних варіантах завдань завжди одержують однакові результати. Тому результати, одержані у завданнях одного типу, можна переносити на завдання іншого типу: це так зване *правило оборотності рухових завдань*.

Наприклад, рухове завдання – біг на 400 м – можна задати:

- А) як *дистанцію* для найшвидшого її проходження (*обсяг*);
- Б) як певну *швидкість*, з якою слід долати дистанцію (*інтенсивність*);
- В) як пробігання найбільшої дистанції за *заданий проміжок часу*.

У усіх випадках при умові максимальної мотивації пацієнта результати виконання рухового завдання будуть однаковими: у першому випадку

спортсмен покаже час  $t$  і швидкість  $V$ , у другому – подолає 400 м за час  $t$ , а в третьому – за заданий час пробіжить рівно 400 м зі швидкістю  $V$ .

Якщо спортсмени пробігають дистанцію 3 км за 12 хв. (середня швидкість – 4,1 м/с), то при завданні пробігти найбільшу дистанцію за 12 хв (тест Купера) вони пройдуть ті ж 3 км, а у випадку завдання бігти з постійною швидкістю 4,1 м/с вони зможуть виконувати завдання заданої інтенсивності лише 12 хв і пройдуть відстань 3 км. Таким чином, конкретний варіант завдання для ергометричних показників не має значення. Це є **правилом оборотності рухових завдань**.

У всіх видах спорту циклічного характеру залежність між довжиною дистанції та рекордним часом прямолінійна і може бути описана рівнянням прямої лінії:

$$D = a + b \cdot t_m \text{ [м]}$$

де  $D$  – дистанція;  
 $t_m$  – час;  
 $a$  і  $b$  – коефіцієнти.

Біомеханічна інтерпретація коефіцієнтів:  $a$  – величина дистанції, що може бути пройдена за рахунок анаеробних джерел енергії;  $b$  – максимальна (критична) швидкість пересування, яка може бути досягнута за рахунок аеробних джерел енергозабезпечення.

Дистанція анаеробних резервів та критичні швидкості, розраховані за наведеним вище рівнянням, наведені нижче.

Коефіцієнт а, м	Коефіцієнт b, м/с	Вид спорту
40	1,60	<i>плавання</i>
240	5,92	<i>легкоатлетичний біг</i>
199	11,2	<i>біг на ковзанах</i>
206	13,5	<i>велосипедний спорт</i>

## 2. Фази втоми та її біомеханічні прояви

*Втомою* називають викликане фізичною роботою тимчасове зниження робоздатності. Втома буває розумова, сенсорна, емоційна, фізична і т. ін. Кінезіологія спорту розглядає фізичну втому.

При м'язовій роботі втома переходить дві *фази*:

- *фазу компенсованої втоми*, яка характеризується тим, що спортсмен, незважаючи на зростаючі труднощі, утримує задану інтенсивність виконання рухового завдання за рахунок змін в техніці: зменшення довжини та збільшення частоти кроків, включення у роботу інших, "неекономічних" м'язових груп та виключення з роботи "непотрібних" м'язів (наприклад, м'язів м'язів), перебудови кінематичної структури рухових дій і ін., Що найчастіше пов'язане із зростанням загальних енерговитрат організму з метою "розвантаження" основних робочих м'язових груп. Динамічний аналіз силових характеристик рухових дій у стані компенсованої втоми у більшості випадків показав їх високу раціональність і досконалішу міжм'язову координацію;

- *фазу декомпенсованої втоми*, при якій спортсмен, незважаючи на всі намагання, не може зберегти попередню інтенсивність рухового завдання: біомеханічна структура рухів розладнується, значно погіршується їх координація, настає локальна втома окремих м'язів та загальне закислення організму.

Нагупання втоми проявляється у специфічних суб'єктивних відчуттях спортсмена, об'єктивних психологічних, фізіологічних та біохімічних зсувах.

Спортивно-тактична і стратегічна підготовленість спортсмена передбачає вибір таких режимів виконання рухового завдання, при яких компенсована втома настає незабаром після початку роботи і переходить в декомпенсовану відразу після фінішу (максималізація використання рухового потенціалу). Проте часто тактичні і стратегічні обставини не дозволяють у повній мірі використати руховий потенціал спортсмена, або – навпаки – призводять до передчасної декомпенсованої втоми.

### 3. Витривалість, як здатність протистояти втомі.

#### *Загальний і латентні показники оцінки витривалості.*

Якщо різним спортсменам запропонувати виконання одного і того-ж рухового завдання, то ознаки втоми у них проявляються у різний час. Причиною цього є різний рівень *витривалості*. Витривалість – це здатність організму протистояти *втомі*. У людей більш витривалих і перша і друга фаза втоми наступають значно пізніше.

*Абсолютний показник рівня витривалості* – це час, протягом якого спортсмен може підтримувати задану інтенсивність рухового завдання.

Якщо врахувати індивідуальний розвиток силових та швидкісних якостей конкретного спортсмена, то виявиться, що для оцінки витривалості у цьому випадку більше пасують *відносні (латентні) показники*:

• *коефіцієнт витривалості* (відношення часу подолання всієї дистанції до середнього часу долаання якогось її невеликого відрізка);

- *запас швидкості (по М.Г.Озоліну)* – різниця між середнім часом проходження еталонного відрізка при проходженні всієї дистанції та кращим часом на цьому відрізку. Зі зменшенням величини дистанції запас швидкості зменшується від 5 С для 10 000 м до 1 С для 400 м.

Латентні показники дозволяють виявити структуру підготовленості спортсменів незалежно від виду спорту, їх кваліфікації, віку, статі тощо.

*Економічність м'язової роботи* оцінюють за валовим (брутто-) коефіцієнтом, нетто-коефіцієнтом та дельта-коефіцієнтом:

- *брутто-коефіцієнт* – це відношення виконаної роботи (в Дж) до витраченої людиною енергії (в Дж);

- *нетто-коефіцієнт* – це відношення виконаної механічної роботи до витраченої енергії без врахування енерговитрат на основний обмін в робочій позі;

- *дельта-коефіцієнт* – це порівняння величин виконаної роботи та енерговитрат в двох ідентичних рухових завданнях різної інтенсивності.

*Коефіцієнти економічності роботи* не завжди придатні при порівнянні майстерності спортсменів різної спеціалізації, так як *константи шляху* – енерговитрати на подолання 1 метра шляху – можуть сильно відрізнятись.

Крім того, слід ураховувати, що у деяких видах спорту лімітуючим фактором стайерської роботи є не транспортна система, а м'язи. Тому спортсмени-стайери вибирають такі режими діяльності, які забезпечують можливість завершення всієї дистанції без локальної втоми окремих м'язів або закислення всього організму завдяки погіршенню загальної економічності рухів.

#### 4. Біомеханічні аспекти енергетики фізичних вправ.

При вивченні біоенергетики рухових дій доцільно виділити *джерела енергії* для виконання фізичних вправ та вказати, куди ця енергія витрачається.

*Джерела енергії* можуть бути *зовнішніми* і *внутрішніми*. До зовнішніх джерел енергії біомеханічної системи «людина» відносяться:

- *потенціальна енергія системи у полі сил тяжіння*  $E_p = m \cdot g \cdot h$  [Дж],

де  $h$  – висота підйому ЦМС відносно обраного нами рівня. Це джерело енергії використовують гірськолижники, санкарі та бобслеїсти, парашутисти, планиристи, а також – при доланні спусків – велосипедисти, лижники-бігуни і навіть легкоатлети.

- *енергія механізмів або тварин* (автомобільний, мотоциклетний, літаковий спорт, кінний спорт і національні види перегонів з використанням шенів, собак тощо);

- *енергія тренера, суперників, партнерів* тощо (як робота, що виконується над біомеханічною системою тренером або партнером в акробатиці, парних велосипедних перегонах, фігурному катанні на ковзанах, суперником у боксі тощо);

- *енергія руху середовища* (сила вітру, течія води) використовується у вітрильному спорті, а також у велоспорті, легкій атлетиці, стрільбі, у бігу на ковзанах, в бадмінтоні, пляжному волейболі і т. ін.

*Внутрішні джерела енергії* – це, як відомо з біохімії та фізіології – два види джерел внутрішньої енергопродукції: анаеробні та аеробні. Найбільша величина енергії, що звільняється при м'язовій роботі, визначається величинами *максимального кисневого боргу та кисневої ємності* (добутку часу роботи на швидкість споживання кисню).

Сумарна енергія:  $E_{\Sigma} = A + B \cdot t_{\max}$ , де  $A$  – анаеробна енергопродукція (кал., Дж),  $B$  – потужність аеробної енергопродукції (кал/хв, Вт);  $t_{\max}$  – гранична тривалість роботи (год.).

Наведена математична залежність справедлива лише у своїх загальних рисах. В дійсності вона ускладнюється додатковими факторами, наприклад, вірогідністю локальної втоми окремих м'язових груп, сповільненням розгортання аеробних процесів на початку м'язової роботи, неоднаковою економічністю м'язової роботи різної тривалості тощо).

*Витрати енергії* людського організму дійсноються у декількох напрямках, причому питома вага енерговитрат тут неоднакова, і залежить від багатьох факторів, у тому числі й від параметрів рухової діяльності:

- *витрати енергії на виконання зовнішньої механічної роботи* (подолання сил опору рухові та сил тяжіння, витрати на затухаючі коливання частин тіла, а також спортивного спорядження і ін.), які інколи досягають до 85% від загальних енерговитрат;

- *енерговитрати на переміщення частин тіла* (за кожен цикл рухів необхідно розганяти і гальмувати, а також піднімати і опускати певні частини тіла, як це має місце при ходьбі, бігу, веслуванні, плаванні, велоспорті тощо). При цьому, враховуючи неповну інтеркомпенсованість та рекуперованість м'язових джерел енергії, за кожен цикл рухів втрачається певна частка енергії біомеханічної системи, яка при виконанні вправ високої інтенсивності досягає 90% від загальних енерговитрат людини ;

- *витрати енергії на забезпечення утримуючої, фіксуючої та зміцнюючої роботи м'язів*, а також енерговитрати на роботу м'язів, витрати енергії на які досягають 5 – 7% ;

- *витрати енергії на основний обмін* (який найменший лежачи, і найбільший – стоячи);

- витрати енергії на тертя, коливання внутрішніх органів і тканин (у висококваліфікованих спортсменів спеціальне керування м'язами, зміни в будові тканин та органів, що виникли внаслідок тривалого впливу специфічних навантажень, значно знижують величину цієї статті витрат енергії, особливо у гімнастів, легкоатлетів, борців тощо).

Енерговитрати різних спортсменів при виконанні однакових рухових завдань є різними. Наприклад, при плаванні з однаковою швидкістю на дистанції 150 м (час 146 С) потреба кисню у плавців-третьорозрядників складає в середньому 5486 мл/хв, а у майстрів спорту – лише 2726 мл/хв, тобто удвічі менше.

## 5. Біомеханічні критерії економізації спортивної техніки.

З біомеханічної точки зору, існують два шляхи підвищення економічності рухових дій:

- зниження величини енерговитрат в кожному циклі;
- рекуперация енергії (тобто, її перехід з кінетичної фракції в потенціальну і навпаки).

*Перший шлях* реалізується наступними способами:

- а) усуненням зайвих рухів та зайвих скорочень м'язів (наприклад, м'язів обличчя і т.ін.).
- б) зменшенням зовнішнього опору рухові (опір води, повітря, снігу тощо);
- в) зменшенням внутрішньоциклових коливань швидкості;



г) зменшенням ударних навантажень, що призводять до коливань в елементах спортивного обладнання і спорядження та у тканинах і органах організму людини;

д) вибором оптимального співвідношення між силою та швидкістю скорочення основних функціональних груп м'язів.

*Другий шлях* реалізується способом зменшення енерговитрат на переміщення частин тіла, які неминучі при виконанні практично усіх рухових дій. Енерговитрати на переміщення кінцівок та інших частин тіла включають у величину виконаної механічної роботи у випадку оцінки її економічності. Коефіцієнт рекуперації енергії показує, яка частка кінетичної енергії окремих частин тіла переходить в потенціальну і навпаки, а яка губиться безповоротно за кожен цикл рухів.

## 6. Біомеханічні особливості активної та пасивної гнучкості.

*Гнучкістю* називають здатність виконувати рухи в суглобах з великою амплітудою. Стосовно до більшості суглобів краще пасує термін “рухливість в суглобі”. Для оцінки гнучкості використовуються гоніометричні показники.

Відрізняють *активну* та *пасивну гнучкість*.

*Активна гнучкість* – це здатність виконувати рухи в будь-якому суглобі з великою амплітудою за рахунок активності м'язів, що проходять через даний суглоб (наприклад, амплітуда підйому ноги в рівновазі “ластівка”).

*Пасивна гнучкість* – спостерігається при досягненні найвищої амплітуди рухів у суглобах за рахунок зовнішніх сил (ваги тіла та окремих його частин, сили інерції, дій тренера чи партнера тощо).

Різниця між активною і пасивною гнучкістю називається *дефіцитом активної гнучкості*. Вона визначається залежністю “сила тяги – довжина вільного м’яза”, а точніше, найбільшою силою тяги, яку може проявити м’яз при своєму найбільшому скороченні. Якщо ця сила недостатня для подальшого переміщення з’єднаних суглобом частин тіла, говорять про активну недостатність м’яза. Дефіцит гнучкості може бути зменшений за рахунок силових вправ з великою амплітудою рухів.

У ряді випадків (стрибки на лижах з трампліна, біг на ковзанах, ривок штанги (у низькому сиді), практично в усіх видах плавання та ін.) Показники активної гнучкості при згинанні стопи тісно пов’язані з амплітудою змагальних вправ, і спортсмени з високими показниками гнучкості мають перевагу.

Не слід вимірювати гнучкість лінійними показниками без урахування індивідуальних антропометричних особливостей конкретних спортсменів: краще безпосередньо або за матеріалами оптичної реєстрації кінематики рухових дій визначати кути в потрібних суглобах.