

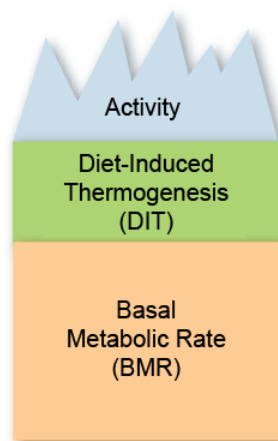
## Wydatki energetyczne a wysiłek fizyczny

Każdy organizm wymaga energii do swego funkcjonowania. **Całkowite wydatki energetyczne (Total Energy Expenditure; TEE)** to ilość energii, jaka jest zużywana na wszystkie czynności wykonywane w ciągu doby. Są to nie tylko procesy przebiegające na poziomie komórkowym, ale również takie procesy jak sen, jedzenie, czy aktywność fizyczna. Na całkowite wydatki energetyczne składają się:

**Podstawowe tempo metabolizmu (Basal Metabolic Rate, BMR):** Jest to ilość energii niezbędna do utrzymania podstawowych funkcji życiowych (utrzymanie potencjału spoczynkowego błon komórkowych, zmiany biochemiczne, obrót białek, itp.) Jej ilość należy zmierzyć u osoby znajdującej się w spokoju fizycznym i psychicznym (a więc nie wykonującej pracy fizycznej i umysłowej), w neutralnej temperaturze otoczenia i w stanie post-absorbcyjnym (na czczo). Jeśli warunek temperatury lub stanu post-absorbcyjnego nie jest zachowany to mówimy nie o podstawowym, ale o spoczynkowym tempie metabolizmu (resting metabolic rate; RMR). BMR jest stosunkowo stałe u poszczególnych osób, ale znacznie różni się pomiędzy różnymi osobami, ponieważ zależy m.in. od wieku, płci i beztłuszczowej masy ciała (free fat mass ;FFM). Człowiek z wyższą proporcją FFM (a więc niższą zawartością tkanki tłuszczowej) ma wyższe BMR. BMR obniża się z wiekiem w związku z ubytkiem masy mięśniowej i ogólnym spadkiem aktywności.

**Termogeneza indukowana dietą (Diet-Induced Thermogenesis; DIT):** Przyjmowanie pokarmu podnosi tempo metabolizmu, ponieważ angażuje wzrost aktywności układu nerwowego oraz procesy związane z trawieniem i wchłanianiem pokarmu. Część energii przyjętej w formie pokarmu jest rozpraszana w formie ciepła, a pozostała przekształcana jest w inne formy energii (np. energię mechaniczną).

**Aktywność:** jej poziom jest wysoce zmienny nie tylko pomiędzy poszczególnymi osobami, ale również u tej samej osoby. Wzrost aktywności zawsze prowadzi do zwiększenia wydatków energetycznych, zależnie od intensywności i czasu trwania: im bardziej intensywny wysiłek i im dłużej trwający tym większe zużycie energii.



Rycina 1 . Całkowite wydatki energetyczne.

Wydatki energetyczne są przeważnie mierzone w kilodżulach (kJ) lub kilokaloriach (kcal). Przeciętny człowiek zużywa w ciągu doby (TEE – Total Energy Expenditure) 1,500 - 3,500 kcal (6,000 - 13,000 kJ). Dla porównania, TEE kolarza Tour de France to 6,000 kcal (24,000 kJ). Jeśli

wydatki energetyczne przewyższają ilość energii dostarczanej z pokarmem to organizm traci masę ciała; w przeciwnym przypadku zwiększa masę ciała.

Wysiłek fizyczny może mieć charakter aerobowy (tlenowy) lub anaerobowy (beztlenowy). Koszt wysiłku tlenowego może być określony za pomocą kalorymetrii pośredniej, czyli na podstawie tempa zużycia tlenu (L/min). Dwa kluczowe czynniki wpływające na zużycie tlenu, a tym samym na skład wydychanego powietrza, to zapotrzebowanie tkanek na tlen oraz tempo wentylacji płuc. Mierząc skład i objętość wydychanych gazów możemy określić energetyczny koszt aktywności fizycznej. W czasie maksymalnych wysiłków fizycznych wentylacja płuc wzrasta z 5-6 L/min nawet do 140-200 L/min.

W czasie wysiłku fizycznego, objętość wyrzutowa serca (cardiac output ;CO) również wzrasta: ze spoczynkowej wartości 5 L/min nawet do 30 L/min. Dzięki temu pracujące mięśnie otrzymują więcej krwi bogatej w tlen, który jest niezbędny do utleniania węglowodanów, tłuszczów i białek. Ponadto, w czasie wysiłku wzrastają ciśnienie parcjalne tlenu w pęcherzykach płucnych i przepływ krwi przez pęcherzyki, co skutkuje szybszą dyfuzją tlenu do krwi (wzrasta pojemność dyfuzyjna płuc). Pracujące mięśnie również otrzymują więcej krwi niż w spoczynku, dzięki wzrostowi przepływu krwi przez tę tkankę.

### Określenie substratów energetycznych

Ponieważ w celu produkcji ATP utleniane są związki dostarczające energii (węglowodany i tłuszcze) to zużycie tlenu rośnie. Znając ilość pobieranego tlenu i ilość wydychanego dwutlenku węgla możemy obliczyć współczynnik wymiany oddechowej (RER). RER to stosunek objętości wytworzonego dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>) do objętości zużytego tlenu (O<sub>2</sub>) w jednostce czasu.

$$RER = VCO_2 / VO_2$$

Wartości RER poniżej 1 wskazują na metabolizm tlenowy, natomiast wartości powyżej 1 wskazują, że zaangażowany jest również metabolizm beztlenowy (glikoliza beztlenowa), ponieważ zapotrzebowanie energetyczne przewyższa ilość dostarczanego tlenu. Wartość RER wskazuje również na rodzaj utlenianej substancji.

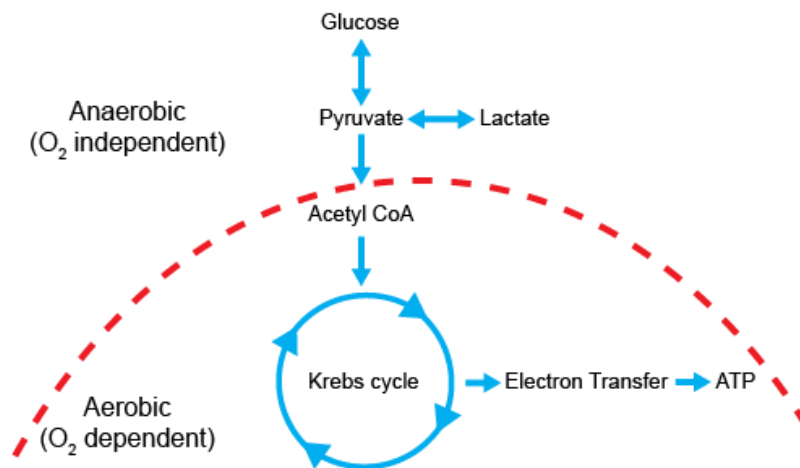
Wartości RER poniżej 1 wskazują na metabolizm tlenowy, natomiast wartości powyżej 1 wskazują, że zaangażowany jest również metabolizm beztlenowy (glikoliza beztlenowa), ponieważ zapotrzebowanie energetyczne przewyższa ilość dostarczanego tlenu. Wartość RER wskazuje również na rodzaj utlenianej substancji.

### Współczynnik oddechowy (RQ) a współczynnik wymiany oddechowej (RER)

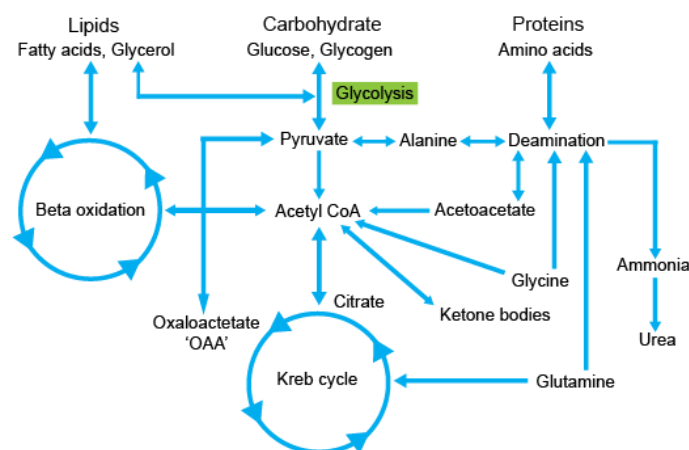
W czasie metabolizmu tlenowego każda komórka zużywa tlen i produkuje dwutlenek węgla. Stosunek produkowanego przez komórkę dwutlenku węgla do zużywanego tlenu nosi nazwę współczynnika oddechowego (RQ). Jeśli obliczamy go na podstawie składu wdychanego i wydychanego powietrza to RQ jest równoważne z RER.

RQ = 1 świadczy o metabolizmie węglowodanów, RQ = 0,71 o metabolizmie tłuszczów, zaś RQ = 0,82 o metabolizmie białek. Przy normalnej, mieszanej diecie RQ przyjmuje wartości między 0,7 a 1.

Zwróć uwagę, że RQ odnosi się do metabolizmu na poziomie komórkowym. Ponieważ w czasie wysiłku zużycie białka pozostaje na mniej więcej stałym poziomie, to określenie dokładnej ilości utlenionego białka możliwe jest jedynie na podstawie ilości wydalonego azotu (mocznik w moczu i pocie). Znając tę wartość można obliczyć jaka część zużytego  $O_2$  i wyprodukowanego  $CO_2$  przypada na utlenianie białek. Pozostałą część stanowi metabolizm węglowodanów i tłuszczów.



Rycina 2. Przemiany tlenowe i beztlenowe w organizmie



Rycina 3. Ścieżki metaboliczne

## Wydatki energetyczne

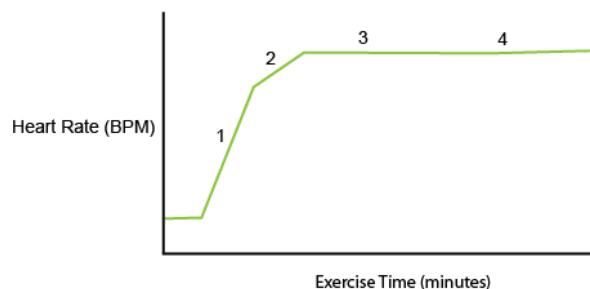
Praca mechaniczna w jednostce czasu to moc. Jej jednostką w układzie SI jest wat ( $1 \text{ W} = \text{J/s}$ ).

1 wat (1 W) to moc, przy której praca wykonana w ciągu jednej sekundy (1 s) jest równa jednemu dżulowi (1 J)

Dzięki kalorymetrii pośredniej możemy określić wydatki energetyczne w czasie pracy mechanicznej (tlenowego wysiłku fizycznego). Możliwe jest to dzięki zależności między ilością zużytego tlenu a powstającą energią. Tzw. równoważnik energetyczny tlenu mówi, że przy zużyciu 1 litra tlenu powstaje  $\sim 20 \text{ kJ}$  energii cieplnej, bez względu na rodzaj utlenianej substancji.

Substancja	Ilość wytworzonej energii (kJ/L O <sub>2</sub> )
Węglowodany	21,12
Tłuszcze	19,61
Białka (mocznik)	20,09

Aby używać miary zużycia tlenu jako wskaźnika metabolizmu tlenowego należy ćwiczyć w stabilny sposób, zapewniający utrzymanie równowagi organizmu w wysiłku.



Rycina 4. Krzywa przedstawiająca osiągnięcie stanu równowagi podczas wysiłku.

Stan równowagi organizmu w czasie wysiłku można określić jako "poziom wysiłku, na którym parametry fizjologiczne pozostają na względnie stałym poziomie przez dłuższy czas" (McArdle, Katch i Katch, 1994).

W czasie wysiłku fizycznego, parametry życiowe takie jak tempo pracy serca, oddychanie, zużycie tlenu czy objętość wyrzutowa serca stopniowo ulegają zmianie. Cztery etapy tych zmian, na przykładzie zapisu tempa pracy serca, są przedstawione na rycinie 4.

1. Gwałtowny wzrost w czasie pierwszej minuty.
2. Stopniowy wzrost w czasie drugiej minuty.
3. Pomiędzy trzecią a szóstą minutą osiągnięty jest stan równowagi, który dalej jest utrzymywany przy danym obciążeniu wysiłkiem.
4. Jeśli wysiłek trwa kilka godzin to następują stopniowe zmiany, takie jak np. wzrost temperatury wnętrza ciała.

Czynniki wpływające na osiągnięcie stanu równowagi:

- Dostarczanie  $O_2$  do pracujących mięśni
- Wykorzystanie  $O_2$  przez komórki w czasie metabolizmu tlenowego
- Zdolność do rozpraszania ciepła.

Przy większej intensywności wysiłku, gdy pojawia się również metabolizm beztlenowy, tempo zużycia tlenu nie odzwierciedla w pełni wydatków energetycznych. Wyniki są nieco zaniżone, ponieważ metoda kalorymetrii pośredniej nie uwzględnia ATP pochodzącej z glikolizy beztlenowej.

## Obliczanie tempa zużycia $O_2$ i produkcji $CO_2$

### Zużycie $O_2$

Objętość zużytego  $O_2$  w ciągu 1 minuty jest obliczona na podstawie różnicy między objętością tlenu wdychanego ( $VI_{O_2}$ ) i wydychanego ( $VE_{O_2}$ ).

$$VO_2 = VI_{O_2} - VE_{O_2}$$

Wiedząc, jaką proporcję objętości zajmuje tlen warunkach STPD,

$$VO_2 = VI \times FIO_2 - VE \times FEO_2$$

I zakładając  $RQ = 1$ ,

$$VO_2 = VI (FIO_2 - FEO_2)$$

### Produkcja $CO_2$

Objętość  $CO_2$  wydychanego w ciągu 1 minuty również jest obliczana na podstawie różnicy między objętością  $CO_2$  wdychanego i wydychanego. Równanie jest jednak prostsze, ponieważ w powietrzu wdychanym zawartość  $CO_2$  jest znikoma i można ją pominąć.

$$VCO_2 = VE \times FECO_2$$

I zakładając  $RQ = 1$ ,

$$VCO_2 = VI \times FECO_2$$