

Jak nasz organizm zarządza energią?

Krucha równowaga

KRYSTYNA NAZAR
ANDRZEJ W. ZIEMBA
Instytut Medycyny Doświadczalnej
i Klinicznej Polskiej Akademii Nauk, Warszawa
nazar@cmdik.pan.pl
ziemba@cmdik.pan.pl

Nasz organizm funkcjonuje dzięki precyzyjnemu zarządzaniu energią. Zarówno nadmierne wydatki, jak i przesadne oszczędzanie nie mogą nam wyjść na dobre

Wszystkie formy aktywności w organizmie człowieka wymagają dostarczenia energii: synteza związków chemicznych, transport substancji przez błony komórkowe, utrzymywanie krążenia krwi, utrzymywanie wewnętrznej temperatury ciała na stałym poziomie i wykonywanie pracy przez mięśnie. Energia dostarczana jest do organizmu w postaci wysokoenergetycznych związków

chemicznych zawartych w pożywieniu. Część energii uwalnianej w tym procesie rozpraszana jest w postaci ciepła, natomiast pozostała część zachowywana jest w małych porcjach w postaci wysokoenergetycznych wiązań chemicznych w cząsteczkach kwasu adenozyntrifosforowego (ATP). Pośredniczy on w przenoszeniu energii z układów, w których jest ona uwalniana do tych, które ją wykorzystują. W komórkach znajdują się jednak bardzo niewielkie zapasy ATP, tak więc niezbędne jest stałe jego wytwarzanie z szybkością dostosowaną do tempa zużycia energii.

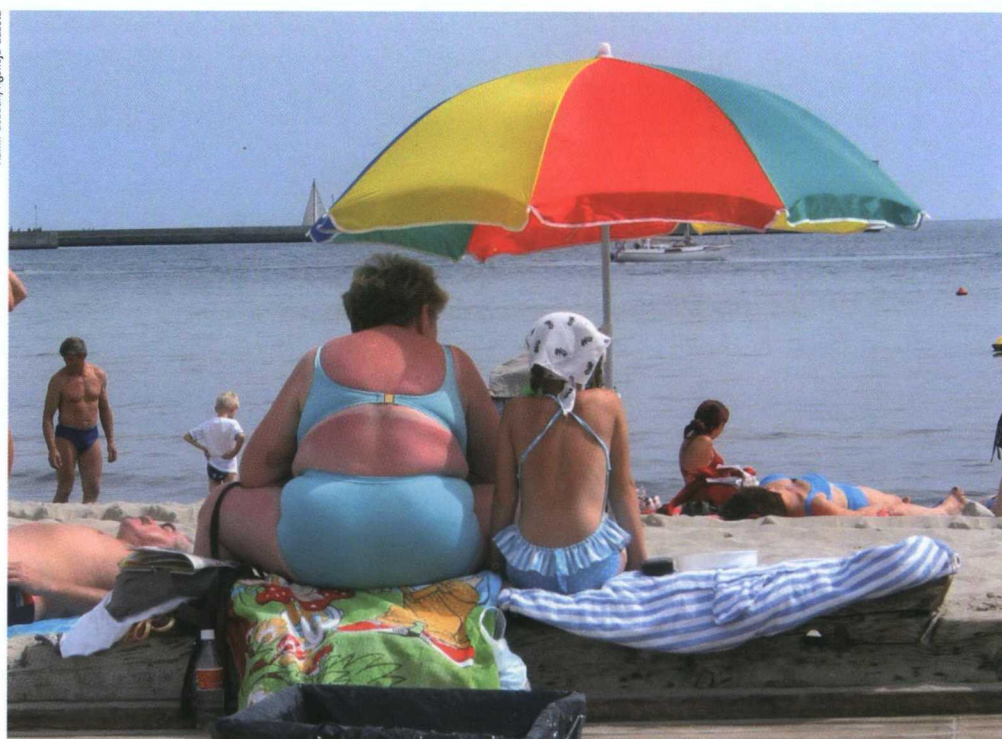
System przetwarzania energii w organizmach żywych charakteryzuje się na ogół wysoką wydajnością. Jest ona jednak różna w różnych tkankach i może zmieniać się w zależności od warunków. W czasie jazdy na rowerze z umiarkowaną prędkością wydajność energetyczna mięśni wynosi 20-25%. Jeszcze większa wydajność osiągana jest podczas chodu i biegu dzięki naprzemiennym skurczom i rozciąganiu przeciwstawnych grup mięśni. Rozciąganie mięśni powoduje,



Profesor Krystyna Nazar zajmuje się badaniami fizjologii wysiłku fizycznego, efektami treningu i braku ruchu



Badania doktora Andrzeja Ziemby obejmują żywienie i regulację przemiany materii



Kamil Gocdan/Agencja Gazeta

Powstrzymanie epidemii otyłości to jeden z priorytetów zdrowotnych krajów rozwiniętych. Recepta jest prosta: zmiana nieprawidłowych nawyków żywieniowych i więcej ruchu

Jak nasz organizm zarządza energią?

że w ich elementach sprężystych (ścięgnach) zostaje zmagazynowana energia potencjalna, która jest następnie wykorzystywana w fazie skurczu.

Na jałowym biegu

W organizmach żywych istnieją również mechanizmy powodujące zmniejszenie wydajności przetwarzania energii w pracę dzięki obecności specjalnych substancji białkowych rozbijających zależność między rozkładem i syntezą ATP. Mechanizm ten umożliwia zwiększenie produkcji ciepła w niskiej temperaturze otoczenia i jest dobrze rozwinięty u zwierząt i u noworodków ludzkich. Występują u nich skupienia tzw. brunatnej tkanki tłuszczowej bogatej w białko zwane termogeniną, które obniża wydajność energetyczną rozkładu ATP, przyczyniając się do

Wydatek energii mało aktywnego dorosłego wynosi przeciętnie od 8000 do 12 500 kJ dziennie. Intensywnie trenujący sportowcy „spalają” nawet 25 000 kJ!

zwiększonej produkcji ciepła. U ludzi dorosłych tkanka ta w znacznym stopniu zanika, chociaż zachowane są jej niewielkie skupienia oraz pojedyncze komórki rozproszone w podskórnej tkance tłuszczowej.

Innym mechanizmem powodującym utratę energii są tzw. cykle jałowe, stymulowane przez niektóre hormony, np. hormony tarczycy i adrenalinę. Składają się na nie dwie nieodwracalne reakcje chemiczne o przeciwnym kierunku, np. synteza jakiejś złożonej substancji i jej rozkład. Jednoczesna aktywacja obu tych reakcji przyczynia się do zwiększenia wytwarzania ciepła.

W normalnych warunkach doby wydatek energii dorosłego, mało aktywnego rucho człowieka wynosi przeciętnie od 8000 do 12 500 kJ, w tym około 70–75 % stanowi termogeneza spoczynkowa, czyli wydatek energii związany z utrzymywaniem procesów życiowych, około 20% wydatku energii związane jest z aktywnością ruchową a 10% stanowi tzw. termogeneza poposiłkowa, czyli zwiększenie wydatku energii występujące bezpośrednio po posiłku.

Jeśli dzienna racja pożywienia dostarcza energii w ilości równej jej dobowemu wydatkowi, to bilans energetyczny jest zrównowa-

żony i masa ciała nie ulega zmianie. Nie oznacza to jednak, że bilans jest równoważony każdego dnia. Długotrwały, intensywny wysiłek może spowodować nawet kilkakrotny wzrost wydatku energii w stosunku do dnia o małej aktywności. Krótkotrwały deficyt energetyczny pokrywany jest łatwo dzięki zapasom energii odłożonym w formie tłuszczu w komórkach tłuszczowych oraz w postaci wielocukru - glikogenu, który gromadzony jest w wątrobie (zapas ok. 100–110 g) i mięśniach (300–400 g).

Niektóre komórki, np. neurony, nie mogą wykorzystywać kwasów tłuszczowych. Wymagają one stałego dostarczania glukozy (mózg zużywa jej w ciągu doby ok. 140 g), a zapasy tego cukru są bardzo skromne. U człowieka, będącego na czczo, we krwi i płynie międzykomórkowym znajduje się około 15 g glukozy. Pochodzi ona głównie z rozkładu glikogenu wątrobowego, ponieważ glikogen zgromadzony w mięśniach może być wykorzystany tylko podczas ich pracy. Nie jest źródłem glukozy uwalnianej do krwi. W głodzie, przy braku dopływu glukozy z przewodu pokarmowego, niezbędne jest więc intensywne wytwarzanie glukozy z innych związków, przede wszystkim z aminokwasów, które są składnikami białek.

Paliwo dla mózgu

Oszczędzanie glukozy na potrzeby mózgu ma fundamentalne znaczenie nie tylko w głodzie, ale również podczas długotrwałych i ciężkich wysiłków. W tej sytuacji pracujące mięśnie zużywają nie tylko glikogen w nich zgromadzony, ale wychwytyują również glukozę z krwi. Oszczędzanie tego cukru możliwe jest dzięki zwiększeniu dostępności kwasów tłuszczowych. Mechanizm fizjologiczny zapobiegający niebezpiecznemu obniżeniu się stężenia glukozy we krwi w czasie wysiłków (mechanizm glukostatyczny) był przedmiotem badań prowadzonych w naszym zakładzie. Jego działanie polega przede wszystkim na zwiększeniu aktywności współczulnego układu nerwowego i wydzielania hormonów, takich jak np. adrenalina, glukagon i kortyzol, stymulujących uwalnianie glukozy z glikogenu wątrobowego i syntezę tego cukru z innych substratów oraz rozkład tłuszczów w tkance tłuszczowej. Ważne znaczenie ma także zmniejszenie wydzielania insuliny, która wywiera działanie przeciwne. Wyniki naszych badań wyka-



Podczas jazdy na rowerze z umiarkowaną prędkością wydajność energetyczna naszych mięśni sięga 20–25%

zały, że wielkość reakcji neurohormonalnej na wysiłki zależy od zasobów węglowodanowych organizmu. Mechanizm glukostatyczny uruchamiany jest zanim dojdzie do obniżenia stężenia glukozy we krwi dzięki temu, że do ośrodkowego układu nerwowego przekazywane są drogą nerwową informacje o metabolizmie glukozy w wątrobie, a przypuszczalnie również o procesach zachodzących w mięśniach. Oczywiście jeśli dojdzie do obniżenia stężenia glukozy we krwi dopływającej do mózgu stan ten jest bezpośrednio wykrywany przez wyspecjalizowane komórki nerwowe i reakcja neurohormonalna jest wyzwalana w trybie natychmiastowym.

Co za dużo, to niezdrowo

Człowiek odziedziczył swój genom po przodkach, którzy z trudem zdobywali pożywienie i musieli przetrwać długie okresy głodu. Dlatego nasze mechanizmy przeciwdziałające nadmiernemu gromadzeniu tłuszczu są słabo rozwinięte. Otyłych chroni nieco wspomniana już termogeneza poposiłkowa. Podczas tego procesu, wskutek aktywności współczulnego układu nerwowego, nasilają się cykle jałowe w wątrobie i mięśniach. Jednak dłużej utrzymujący się dodatni bilans energetyczny prowadzi do zmniejszenia skuteczności także tego mechanizmu. Badania prowadzone w naszym zakładzie wykazały, że termogeny efekt spożycia glukozy (standardowego laboratoryjnego posiłku) obniża się u ludzi dorosłych wraz ze wzrostem masy ciała. Jest to spowodowane zmniejszeniem wrażliwości na insulinę, która stymu-

luje syntezę złożonych związków z prostych składników pokarmowych i zmniejszeniem poposiłkowej aktywacji współczulnego układu nerwowego. U ludzi ze znaczną nadwagą zmniejsza się też zazwyczaj aktywność i wydolność fizyczna. Jest to czynnik, który może wpływać bezpośrednio na bilans energetyczny. Wykazano jednak, że jest to także ważny czynnik zmniejszający termogeny efektu poposiłkowej u ludzi dorosłych z wiekiem może być wtórne w stosunku do efektu ograniczenia aktywności ruchowej i przyrostu masy ciała. Starzenie się może mieć jednak bezpośrednie znaczenie, ponieważ u kobiet szczupłych, prowadzących aktywny tryb życia w wieku powyżej 70 lat stwierdzono zahamowanie ciepłotwórczego działania glukozy.

Dane epidemiologiczne niedwuznacznie wskazują na zwiększanie się częstości występowania otyłości i jej powikłań w krajach o wysokim stopniu cywilizacji. Powikłania te prowadzą do nasilenia ryzyka rozwoju miażdżycy i cukrzycy, a w rezultacie do zwiększenia śmiertelności i kosztów leczenia. ■

Chcesz wiedzieć więcej?

- Durnin J.V.G., Passmore R. (1969). *Energetyka pracy i wypoczynku*. PWN, Warszawa.
- Kozłowski S., Nazar K. (1999). *Wprowadzenie do fizjologii klinicznej*, III wydanie. PZWL, Warszawa.
- Kozłowski S. (1986). *Granice przystosowania*. PWN, Warszawa.
- Keller J.S. (1996). *Zarys bioenergetyki człowieka. Homeostaza organizmu dorosłego*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.