Dr hab. prof. nadzw. Andrzej Klimek
Instytut |Fizjologii Człowieka
Akademia Wychowania Fizycznego
w Krakowie

FIZJOLOGICZNE PODŁOŻE OSTREGO I OPÓŹNIONEGO BÓLU MIĘŚNIOWEGO W NARCIARSTWIE

Jak powszechnie wiadomo, mięśnie szkieletowe człowieka, w zależności od zaopatrzenia w tlen, mogą podczas pracy korzystać z aerobowych lub anaerobowych przemian energetycznych. Zależne jest to przede wszystkim od wzajemnych relacji między możliwościami dostarczenia O_2 do pracujących mięśni oraz ich aktualnego zapotrzebowania na ten gaz.

Zapotrzebowanie mięśni na tlen zależy przede wszystkim od intensywności wysiłku. Zależność jest tu wprost proporcjonalna, a więc im bardziej intensywny wysiłek, tym większe zapotrzebowanie pracujących mięśni na tlen. Dostarczanie O_2 do mięśni zależy natomiast od wydajności mechanizmów zaopatrzenia tlenowego ustroju, a więc przede wszystkim od funkcji układu oddechowego, układu krążenia i pojemności tlenowej krwi. Jeśli zatem wspomniane mechanizmy dostarczają do mięśni adekwatną do potrzeb ilość tlenu, wówczas energia do pracy pochodzi z przemian aerobowych (tlenowych). Tak dzieje się np. podczas wysiłków długotrwałych o niskiej intensywności (np. bieg truchtem). Jeżeli natomiast mechanizmy zaopatrzenia tlenowego, z różnych względów, nie są w stanie dostarczyć wystarczającej ilości O_2, wówczas energia do pracy czerpana być musi z przemian anaerobowych (beztlenowych), a więc przebiegających bez udziału tlenu (np. bieg sprinterski). Najczęściej jednak, podczas uprawiania różnych dyscyplin sportu, ze względu na częstą zmianę intensywności pracy (np. w grach zespołowych) organizm korzysta z tzw. energetyki mieszanej, kiedy to mięśnie korzystają zarówno z przemian beztlenowych (np. start do piłki, szybka zmiana pozycji), jak również tlenowych (np. przerwy w grze, fazy zmniejszonej aktywności).

Powyższe zależności dotyczą każdej formy aktywności fizycznej, a więc również narciarstwa alpejskiego. W zależności od intensywności wysiłku, mięśnie, szczególnie kończyn dolnych, wykonują pracę w oparciu o aerobowe i/lub anaerobowe przemiany energetyczne. Reakcje tlenowe dominują przede wszystkim w czasie jazdy dużym promieniem skrętu po stokach o małym nachyleniu, natomiast przemiany beztlenowe – podczas skrętów o małym promieniu i

pokonywania stromych stoków, kiedy zdecydowanie wzrasta intensywność pracy mięśniowej.

Przebiegające w mięśniach przemiany biochemiczne, dostarczające energię do pracy, mają bezpośrednie przełożenie na rodzaj produkowanych w mięśniach związków, będących produktem wysiłkowej przemiany materii. Efektem reakcji aerobowych jest produkcja dwutlenku węgla i wody, jako produktów końcowych cyklu Krebsa, natomiast przemian anaerobowych – wytwarzanie kwasu mlekowego, który powstaje podczas glikolizy beztlenowej.

Dwutlenek węgla i woda, powstające w czasie pracy tlenowej (o niskiej intensywności) nie stanowią problemu z punktu widzenia zdolności wysiłkowych ustroju. CO_2 jest bowiem wydalany podczas wymiany gazowej w płucach, natomiast woda wykorzystywana przez ustrój, który w czasie wysiłku funkcjonuje najczęściej w warunkach deficytu H_2O. Inaczej jest z produktem przemian beztlenowych – kwasem mlekowym, wytwarzanym przez miocyty podczas pracy o dużej intensywności. Stanowi on bowiem jedną z podstawowych przyczyn zmęczenia, będąc jednym z powodów tzw. zmęczenia ośrodkowego oraz hamując możliwość czerpania energii z procesów glikolitycznych.

Odnosząc przedstawione wyżej informacje bezpośrednio do wysiłku narciarza można stwierdzić, że jadąc prawidłowo technicznie po stoku o niewielkim nachyleniu, wykorzystując jako impuls skrętny zmianę krawędzi, w mięśniach nie powstaje znacząca ilość kwaśnych metabolitów, które są przyczyną szybko narastającego zmęczenia. Efektem dynamicznej jazdy po stromym stoku jest natomiast wzrost stężenia kwasu mlekowego w komórkach mięśniowych i we krwi, co w krótkim czasie prowadzi do zmniejszenia zdolności wysiłkowych pracujących mięśni.

Często można się spotkać z twierdzeniem, że występujący podczas pracy, oraz niejednokrotnie kilka dni po intensywnym wysiłku, ból mięśniowy jest efektem „zakwaszenia" mięśni. Kwasowi mlekowemu przypisuje się zatem bezpośrednie powodowanie bolesności w obrębie zmęczonych mięśni. Jest to twierdzenie błędne, nie znajdujące potwierdzenia w wynikach badań naukowych. Można to bardzo łatwo udowodnić. Podanie bezpośrednio do krwi i mięśni kwasu mlekowego nie powoduje bowiem odczuć bólowych. Ponadto, zwiększone zakwaszenie mięśni utrzymuje się znacznie dłużej niż wysiłkowa ich bolesność. Zwrócić również należy uwagę na fakt, że w drugim czy trzecim dniu po intensywnym wysiłku, stężenie kwasu mlekowego nie jest wyższe niż w warunkach spoczynkowych, a ból nadal jest

silnie odczuwany. Ze zjawiskiem tym narciarze bardzo często spotykają się np. po pierwszym w sezonie dniu spędzonym na intensywnej jeździe na nartach, szczególnie wówczas, gdy są nieodpowiednio przygotowani pod względem fizycznym. W takim przypadku bolące mięśnie kończyn dolnych nie tylko utrudniają jazdę w dniach następnych, ale niejednokrotnie również zwykłe poruszanie się, np. schodzenie po schodach, wykonanie przysiadu itp.

Co zatem, jeśli nie kwas mlekowy, jest bezpośrednią przyczyną bólu w obrębie pracujących i zmęczonych mięśni? Jaki rodzaj pracy fizycznej w największym stopniu ten ból nasila? Jak postępować, aby zmniejszyć dolegliwości związane z opóźnionym bólem mięśniowym?

Aby przeprowadzić fizjologiczną analizę przyczyn bólu mięśniowego, należy dokonać podziału na ból ostry, występujący podczas pracy i ustępujący po jej zakończeniu oraz ból opóźniony (DOMS – delayed onset of muscle soreness), który pojawia się 6 do 12 godzin po intensywnym wysiłku, utrzymując się najczęściej przez 2-3 doby.

W czasie jazdy na nartach, mięśnie kończyn dolnych przez stosunkowo długi czas pracują w oparciu o skurcze izometryczne (wzrost napięcia bez zmiany długości mięśnia), a więc w warunkach upośledzonego przepływu krwi. Napięte komórki mięśniowe (miocyty) wywierają bowiem nacisk na naczynia krwionośne wywołując lokalne niedokrwienie, a więc utrudniony transport tlenu i związków energetycznych do mięśni oraz wzrost stężenia produktów wysiłkowej przemiany materii, takich jak kwas mlekowy, amoniak, fosforany, nukleotydy. Stosunkowo długie niedokrwienie pracujących grup mięśniowych wynika z nowoczesnej techniki jazdy, opartej na możliwie długim dociążaniu nart podczas sterowania skrętem oraz eliminacji odciążenia, podczas którego napięte mięśnie mogą zostać na krótki okres rozluźnione. Ponadto podczas intensywnej jazdy na nartach, w każdym skręcie, szczególnie pod koniec fazy sterowania kiedy przeciążenia są największe, dochodzi do skurczów ekscentrycznych (wzrost napięcia w połączeniu z rozciągnięciem mięśnia), co jest bezpośrednią przyczyną powstawania uszkodzeń w obrębie komórek mięśniowych. Na napięte miocyty działają bowiem siły rozciągające, tym większe, im większa prędkość jazdy i mniejszy promień skrętu. Wówczas, szczególnie mięśnie czworogłowe ud, przeciwdziałając powstającej w każdym skręcie sile bezwładności (odśrodkowej), która wciska narciarza w śnieg, poddawane są dużym siłom rozciągającym. Powstające w ten sposób uszkodzenia oraz wymienione wyżej metabolity, wydają się być najważniejszą przyczyną bólu

mięśniowego, odczuwanego jako ostry ból „piekący”, który zmusza najczęściej do przerwania wysiłku lub, jeśli to możliwe, znaczącego zmniejszenia intensywności pracy (zmniejszenia prędkości jazdy lub wydłużenia promienia skrętu).

Od kilku do kilkunastu godzin po zakończeniu intensywnego wysiłku mogą się pojawić objawy opóźnionego bólu mięśniowego (DOMS), będącego efektem wspomnianych wyżej mikrourazów w obrębie miocytów. Ból ten spowodowany jest procesami zapalnymi zachodzącymi w naderwanych strukturach wewnątrzmięśniowych, obrzękiem komórek mięśniowych, wpływem produktów uszkodzeń mięśni i wreszcie procesami gojenia, których zadaniem jest przywrócenie struktury miocytów do stanu przedurazowego.

Mechaniczne urazy mięśni związane są, jak już wyżej wspomniano, z uszkodzeniami błon komórkowych. Dowodem zaistnienia tych uszkodzeń jest łatwe do stwierdzenia przedostawanie się do krwi wewnątrzkomórkowych enzymów, takich jak np. kinaza kreatynowa i dehydrogenaza mleczanowa. Związki te są uznanymi markerami uszkodzeń mięśniowych. Posiadają bowiem izoformy specyficzne dla mięśni szkieletowych, co pozwala na odróżnienie mikrourazów powstałych w tych właśnie mięśniach od uszkodzeń np. mięśnia sercowego. Ponadto w osoczu zwiększa się ilość mioglobiny, która będąc odpowiednikiem hemoglobiny, jest białkiem mięśniowym odpowiedzialnym za przyłączanie i magazynowanie tlenu. Obecność we krwi wymienionych wyżej związków, znajdujących się w warunkach fizjologicznych wewnątrz komórek mięśniowych, jest zatem dowodem na uszkodzenie miocytów, a ich największe stężenie w osoczu zbiega się ze szczytem sztywności i bolesności mięśni.

Największe opóźnione dolegliwości bólowe (DOMS) obserwuje się po wykonaniu ciężkiej pracy fizycznej opartej w znacznym stopniu na skurczach ekscentrycznych. Osoby jeżdżące na nartach najczęściej skarżą się na ból prostowników podudzi, a więc przede wszystkim obu mięśni czworogłowych ud. Podobny ból może być np. spowodowany długotrwałym schodzeniem z góry. Osoby chodzące po górach mają bardziej dokuczliwe opóźnione dolegliwości bólowe po zejściu z góry niż po wejściu na tę samą górę mimo, iż, jak wiadomo, koszt energetyczny wychodzenia jest znacznie większy w związku z pokonywaniem siły grawitacji. Dzieje się tak dlatego, że każdy krok „pod górę” wykonywany jest dzięki skurczowi koncentrycznemu mięśnia czworogłowego uda (mięsień ulega skróceniu), natomiast każdy krok „w dół” oparty jest na opisanym wcześniej

skurczu ekscentrycznym (mięsień jest rozciągany), co jest bezpośrednią przyczyną wspomnianych mikrourazów w obrębie miocytów.

Po wysiłku, który doprowadził do wystąpienia opóźnionego bólu mięśniowego, siła i moc mięśni znacząco się obniżają, a powrót tych wskaźników do wielkości wyjściowych następuje dopiero po upływie ok. 1-2 tygodni. Przez następne 6-12 tygodni utrzymuje się jednak większa odporność komórek mięśniowych na ponowne wystąpienie uszkodzeń. Dlatego, po ustąpieniu DOMS, mimo stosowania podobnych lub nawet znacznie większych obciążeń wysiłkowych, nie obserwuje się nawrotu dolegliwości bólowych lub są one znacznie mniejsze.

Wskazane wyżej informacje można wykorzystać poprzez racjonalne przygotowanie się do dłuższego wyjazdu narciarskiego, szczególnie, jeśli ma to być pierwszy w sezonie kontakt ze śniegiem. Dotyczy to przede wszystkim osób o niskiej codziennej aktywności fizycznej, choć w równym stopniu powinno być wykorzystywane w sporcie wyczynowym, np. po dłuższym wyłączeniu zawodnika z pracy treningowej.

Podczas przygotowania fizycznego do wyjazdu narciarskiego, w celu uniknięcia wystąpienia niekorzystnych objawów bólu mięśniowego, należy zatem wziąć pod uwagę następujące informacje:

a) intensywna praca mięśniowa, oparta na skurczach ekscentrycznych, powoduje powstanie mikrourazów w strukturach wewnątrzmięśniowych,
b) po około 1-2 tygodniach siła i moc uszkodzonych mięśni wracają do stanu wyjściowego,
c) przez okres 6-12 tygodni mięśnie będą bardziej odporne na ponowne uszkodzenia i związany z nimi ból mięśniowy.

Podsumowując przedstawione wyżej informacje można zaproponować następujący tok postępowania: na około tydzień przed planowanym wyjazdem należy wykonać serię intensywnych ćwiczeń fizycznych opartych na skurczach ekscentrycznych, doprowadzając w ten sposób do opóźnionego bólu mięśniowego, będącego efektem mikrourazów w obrębie mięśni czworogłowych ud. Mogą to być np. bieg „z góry" najlepiej ze stromego stoku, zbieganie po schodach, podskoki do głębokiego przysiadu, przeskoki obunóż lub jednonóż przez przeszkodę (np. ławeczkę) do przysiadu, zeskoki z pewnej wysokości (np. z krzesła, drabinek), przysiady na obu lub na jednej nodze itp. Każde ćwiczenie można kończyć przyjęciem pozycji zjazdowej. Struktura ruchu powinna być bowiem możliwie najbardziej zbliżona do specyfiki pracy występującej podczas jazdy na nartach.

Oczywiście każdą serię ćwiczeń należy poprzedzić odpowiednią rozgrzewką a stosowane obciążenia dostosować do możliwości wysiłkowych ćwiczącego tak, aby nie doprowadzić do przeciążeń w obrębie aparatu ruchu. W tym celu należy bezwzględnie stosować się do zasady stopniowania trudności. Podkreślić należy, że wymienione ćwiczenia powinny doprowadzić do znacznego zmęczenia lokalnego, szczególnie mięśni kończyn dolnych tak, aby na drugi dzień wystąpił ból mięśni, w szczególności przedniej części ud. Po około dwóch dniach ból całkowicie ustąpi, natomiast po około tygodniu siła mięśniowa wróci do stanu wyjściowego. Powinno to znacząco zredukować, lub nawet całkowicie zniwelować, wystąpienie dolegliwości bólowych podczas jazdy na nartach, co ma wpływ nie tylko na lepsze wykorzystanie czasu i czerpanie większej przyjemności z pierwszego kontaktu ze śniegiem, ale przede wszystkim może decydować o bezpieczeństwie, które zawsze jest wartością nadrzędną.

Wybrane anglojęzyczne pozycje piśmiennictwa dotyczące problematyki bólu mięśniowego:

1. Arnstrong R.B. – *Mechanism of exercise-induced delayed onset muscular soreness: a briew review*. Med. Sci. Sports Exerc. 1984, 16: 529-538.
2. Brown S., Day S., Donnelly A. – *Indirect evidence of human skeletal muscle damage and collagen breakdown after eccentric muscle actions*. J. Sports Sci. 1999, 17, 5: 397-402.
3. Clarkson P.M., Tremblay I. – *Exercise induced muscle damage, repair and adaptation in humans*. J. Appl. Physiol. 1988, 65: 1-6.
4. Newham D.J., Jones D.A., Clarkson P.M. – *Repeated high-force eccentric exercise: effects on muscle pain and damage*. J. Appl. Physiol. 1987, 63: 1381-1386.
5. Schwane J.A., Johnson S.R., Vandenakker C.B., Armstrong R.B. – *Delayed-onset muscular soreness and plasma CPK and LDH activities after downhill running*. Med. Sci. Sports Exerc. 1983, 15:51-56.
6. Schwane J.A., Williams J.S., Sloan J.H. – *Effects of training on delayed muscle soreness and serum creatine kinase activity after running*. Med. Sci. Sports Exerc. 1987, 19: 584-590.
7. Tiidius P.M., Ianuzzo C.D. – *Effects of intensity and duration of muscular exercise on delayed soreness and serum enzyme activities*. Med. Sci. Sports Exerc. 1983, 15: 461-465.
8. Triffletti P., Litchfield P.E., Clarkson P.M., Byrnes W.C. – *Creatine kinase and muscle soreness after repeated isometric exercise*. Med. Sci. Sports Exerc. 1988, 20: 242-248.

Wybrane pozycje książkowe w języku polskim:

1. Górski J. (red.) – *Fizjologiczne podstawy wysiłku fizycznego*. Wyd. Lekarskie PZWL, Warszawa 2001.
2. Jegier A., Nazar K., Dziak A. (red.) – *Medycyna Sportowa*. Polskie Towarzystwo Medycyny Sportowej, Warszawa 2005.
3. Stupnicki R. (red.) – *Wybrane zagadnienia fizjologii wysiłku fizycznego*. Instytut Sportu, Warszawa 1992.