

1.8.4. Objętość minutowa

Objętość minutowa w spoczynku po treningu wytrzymałościowym jest taka sama jak u osób niewytrenowanych. Również w czasie wysiłku submaksymalnego o obciążeniu stanowiącym jednakowy odsetek $\dot{V}O_{2max}$ dla każdego badanego wzrost objętości minutowej w obu grupach jest zbliżony. Jednak w czasie wysiłku o maksymalnym obciążeniu objętość minutowa u osób bardzo wytrenowanych wzrasta nawet do 40 l/min, natomiast u osób niewytrenowanych, jak wspomniano, nie przekracza 25 l/min. Na wielkości te wpływa masa ciała.

1.8.5. Naczynia krwionośne

W czasie treningu wytrzymałościowego w mięśniach powstają nowe naczynia włosowate (kapilary). Ponieważ liczba komórek mięśniowych nie ulega zmianie, stosunek liczby kapilar do liczby włókien wzrasta. Zwiększenie liczby kapilar oznacza ułatwienie dostawy nie tylko tlenu, lecz także substratów energetycznych, oraz ułatwienie usuwania produktów przemiany materii. Zwiększa się napięcie ścian naczyń żylnych, co powoduje, że mniej krwi gromadzi się w łożysku żylnym, zatem więcej krwi trafia do tętnic, a zwłaszcza do pracujących mięśni.

1.8.6. Ciśnienie tętnicze

Trening wytrzymałościowy nieznacznie obniża ciśnienie tętnicze skurczowe i rozkurczowe. Nieco większe spadki ciśnienia obserwuje się u osób z ciśnieniem granicznym lub lekkim nadciśnieniem. Wysiłki siłowe, np. podniesienie ciężaru, znacznie zwiększają ciśnienie skurczowe i rozkurczowe. Jednak trening tego typu nie prowadzi do rozwoju nadciśnienia. Obserwowano nawet niewielkie obniżenie ciśnienia tętniczego u ludzi z ciśnieniem granicznym zaangażowanych w treningi siłowe.

1.9. Wpływ wysiłku na układ oddechowy

1.9.1. Wprowadzenie

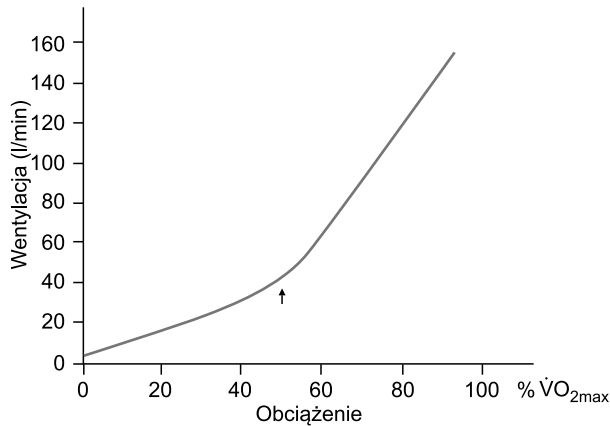
Układ oddechowy stanowią płuca, oskrzela główne, tchawica, krtań, gardło i przewody nosowe. Płuca są pokryte mocną łącznotkankową błoną zwaną **opłucną płucną** (lub trzewną). Wewnętrzna powierzchnia klatki piersiowej wyścielona jest taką samą błoną, nazywaną **opłucną ścienną**. Pomiędzy opłucną płucną a opłucną ścienną znajduje się niewielka objętość płynu o składzie podobnym do składu płynu międzykomórkowego. Na cykl oddechowy skła-

da się wdech i wydech. Wdech jest aktem czynnym. Zachodzi dzięki czynności skurczowej mięśni oddechowych. W czasie wdechu następuje zwiększenie objętości klatki piersiowej i w następstwie rozciągnięcie płuc. W spoczynku wdech zachodzi dzięki skurczowi mięśnia przepony i mięśni międzyżebrowych zewnętrznych. We wzmożony wdech są zaangażowane także mięśnie oddechowe dodatkowe, a mianowicie mięsień piersiowy mniejszy, mięśnie zębate i mięsień mostkowo-obojęczkowo-sutkowy. Spokojny wydech jest aktem biernym. W czasie wydechu zarówno płuca, jak i klatka piersiowa wracają do wymiarów spoczynkowych. We wzmożony wydech są zaangażowane mięśnie oddechowe wydechowe (mięśnie międzyżebrowe wewnętrzne i mięśnie tłoczni brzusznej). W spoczynku, w czasie spokojnego wdechu do płuc wchodzi ok. 500 ml powietrza (jest to tzw. **objętość oddechowa**). Częstość oddechów w spoczynku wynosi 10 na minutę, a więc wentylacja minutowa (objętość oddechowa \times częstość oddechów na minutę) wynosi 5 l/min.

Czynnością układu oddechowego steruje kompleks neuronów pnia mózgu. Na kompleks ten składają się ośrodki zlokalizowane w moście i rdzeniu przedłużonym. Kluczową strukturą tego kompleksu jest ośrodek oddechowy zlokalizowany w rdzeniu przedłużonym. Jego zniszczenie powoduje nieodwracalne zatrzymanie oddychania.

1.9.2. Wpływ wysiłku na wentylację płuc

Wentylacja minutowa płuc rośnie szybko już na początku wysiłku submaksymalnego o stałym obciążeniu. Ten szybki wzrost ulega następnie zwolnieniu, a w miarę kontynuowania wysiłku wielkość wentylacji stabilizuje się. Niewielki wzrost wentylacji obserwuje się często tuż przed rozpoczęciem wysiłku. W czasie wysiłku o wzrastającym obciążeniu wentylacja wzrasta liniowo wraz ze wzrostem obciążenia, aż do obciążeń rzędu 50–75% $\dot{V}O_{2max}$. Przy dalszym wzroście obciążenia wzrost wentylacji znacznie wyprzedza wzrost obciążenia. Punkt, w którym wzrost wentylacji zaczyna być szybszy niż wzrost obciążenia, nazywa się **progiem wentylacyjnym** (ryc. 1.19). Próg wentylacyjny występuje zwykle (choć nie zawsze) przy tym samym obciążeniu co próg mleczanowy. Postuluje się więc zastosowanie progu wentylacyjnego (jako metody nieinwazyjnej) do oceny progu mleczanowego. W czasie wysiłku o obciążeniu poniżej progu wentylacyjnego wzrost wentylacji zachodzi głównie za sprawą wzrostu objętości oddechowej, a w mniejszym stopniu za sprawą wzrostu częstości oddechów. Powyżej progu wentylacyjnego wentylacja rośnie głównie dzięki wzrostowi częstości oddechów (nawet do 60 oddechów/min). Objętość oddechowa wzrasta wolniej. Przy wentylacji powyżej 40 l/min rozpoczyna się oddychanie przez usta, co zmniejsza opory oddechowe, które występują w czasie oddychania przez nos. Stosunek wentylacji (w litrach) do zużycia tlenu (w litrach) nazywamy **oddechowym równoważnikiem tlenowym**. Wynosi on 23–26. W czasie wysiłku powyżej



Rycina 1.19.

Wpływ wysiłku o wzrastającym obciążeniu na wentylację minutową płuc. Po przekroczeniu pewnego obciążenia (u osób niewytrenowanych wynosi ono ok. 50% $\dot{V}O_{2max}$) wzrost wentylacji znacznie wyprzedza wzrost obciążenia. Obciążenie, przy którym rozpoczyna się ten proces, nazwano progiem wentylacyjnym. Próg zaznaczono strzałką. Trening wytrzymałościowy przesuwają próg wentylacyjny w prawo.

progu wentylacyjnego równoważnik ten wzrasta i może przekroczyć 30. Oznacza to, że wzrost wentylacji przekracza wzrost zużycia tlenu. Stosunek wentylacji (w litrach) do objętości wydalonego dwutlenku węgla (**oddechowy równoważnik dwutlenku węgla**) w spoczynku wynosi ok. 22 i nie ulega zmianie w czasie wysiłku. Oznacza to, że wzrost wentylacji jest wystarczający do usunięcia wytworzonego dwutlenku węgla. Wymiana gazowa w płucach w czasie wysiłku wzrasta zarówno na skutek wzrostu wentylacji, jak i wzrostu przepływu krwi przez płuca (p. wyżej).

Przyjmuje się, że mechanizm wzrostu wentylacji w czasie wysiłku o obciążeniu poniżej progu wentylacyjnego jest zbliżony do mechanizmu dostosowującego czynność układu krążenia do wysiłku. A więc szybki wzrost wentylacji na początku wysiłku powodowany byłby przez impulsację z kory mózgowej ruchowej (polecenie ośrodkowe) do kompleksu oddechowego pnia mózgu. Następnie czynnością tego kompleksu sterują bodźce z chemoreceptorów zlokalizowanych w kłębkach szyjnych i aortalnych oraz metaboreceptorów mięśni, a także mechanoreceptorów mięśni, stawów i ścięgien.

Wzrost wentylacji, począwszy od progu wentylacyjnego, jest powodowany przez wzrost stężenia jonów H^+ we krwi oraz wzrost stężenia jonów potasu. Jony potasu są uwalniane w zwiększonej ilości z mięśni w czasie wysiłku, zwłaszcza powyżej progu mleczanowego. Dowiedziono, że wzrost stężenia jonów potasu w osoczu stymuluje oddychanie za pośrednictwem kłębków szyjnych. Nie można też wykluczyć udziału innych czynników, takich jak wzrost ciepłoty ciała i stężenia amin katecholowych we krwi.

U niektórych ludzi, gdy wentylacja przekroczy mniej więcej połowę maksymalnej dowolnej wentylacji, występuje uczucie duszności w czasie wysiłku. Dotyczy to najczęściej osób o małej wydolności podejmujących wysiłki o dużym obciążeniu, w czasie których wzrasta prężność CO_2 i stężenie jonów H^+ we krwi tętniczej. Podwyższona prężność CO_2 i wzrost stężenia jonów wodoru silnie pobudzają chemoreceptory i w następstwie oddychanie. Jednak wydolność mięśni oddechowych jest za mała w stosunku do potrzeb i wentylacja nie zaspokaja zapotrzebowania, co rodzi uczucie duszności.

1.9.3. Wpływ treningu wytrzymałościowego na wentylację płuc

Jak wynika z powyższego, układ oddechowy posiada znaczną rezerwę czynnościową. Trening nie zmienia struktury układu oddechowego ani wentylacji spoczynkowej. Jednak trening wytrzymałościowy zmniejsza wzrost wentylacji w czasie wysiłków o obciążeniu submaksymalnym. Zmniejsza to obciążenie wysiłkowe mięśni oddechowych, a tym samym wydłuża czas ich pracy do wystąpienia zmęczenia. Przyczyną tego jest zapewne lepsze wykorzystanie tlenu przez pracujące mięśnie u osób zaadaptowanych do wysiłku wytrzymałościowego. U osób tych w czasie wysiłku o maksymalnym obciążeniu wentylacja płuc wzrasta w większym stopniu niż u osób niewytrenowanych i może osiągnąć wartość nawet 240 l/min. U części osób zaadaptowanych do wysiłku wytrzymałościowego zwiększa się pojemność życiowa płuc, maksymalna dowolna wentylacja, a także pojemność dyfuzyjna płuc. Trening wytrzymałościowy przesuwą próg wentylacyjny w kierunku większych obciążeń. Przesunięcie to jest zbieżne z przesunięciem progu mleczanowego. Jest to także efekt wtórny do zwiększania zdolności mięśni do przemian tlenowych.

1.10. Wpływ wysiłku na krew

1.10.1. Wprowadzenie

Krew składa się z **części płynnej (osocza)** i **krwinek**. Stosunek objętości krwinek do objętości pełnej krwi wyrażony w procentach określa się mianem **hematokrytu**. Prawidłowa wartość hematokrytu u mężczyzn wynosi 45%, a u kobiet 42%. Osocze składa się z wody (92%) i składników stałych (8%). Składniki stałe to głównie białka, elektrolity oraz ogromna liczba związków transportowanych. Białka osocza dzielą się na **albuminy**, **globuliny** i **fibrynogen**. Stanowią one, odpowiednio, ok.: 55%, 45% i 6% białek osocza. Albuminy są odpowiedzialne głównie za tworzenie ciśnienia onkotycznego osocza. Globuliny podzielono