

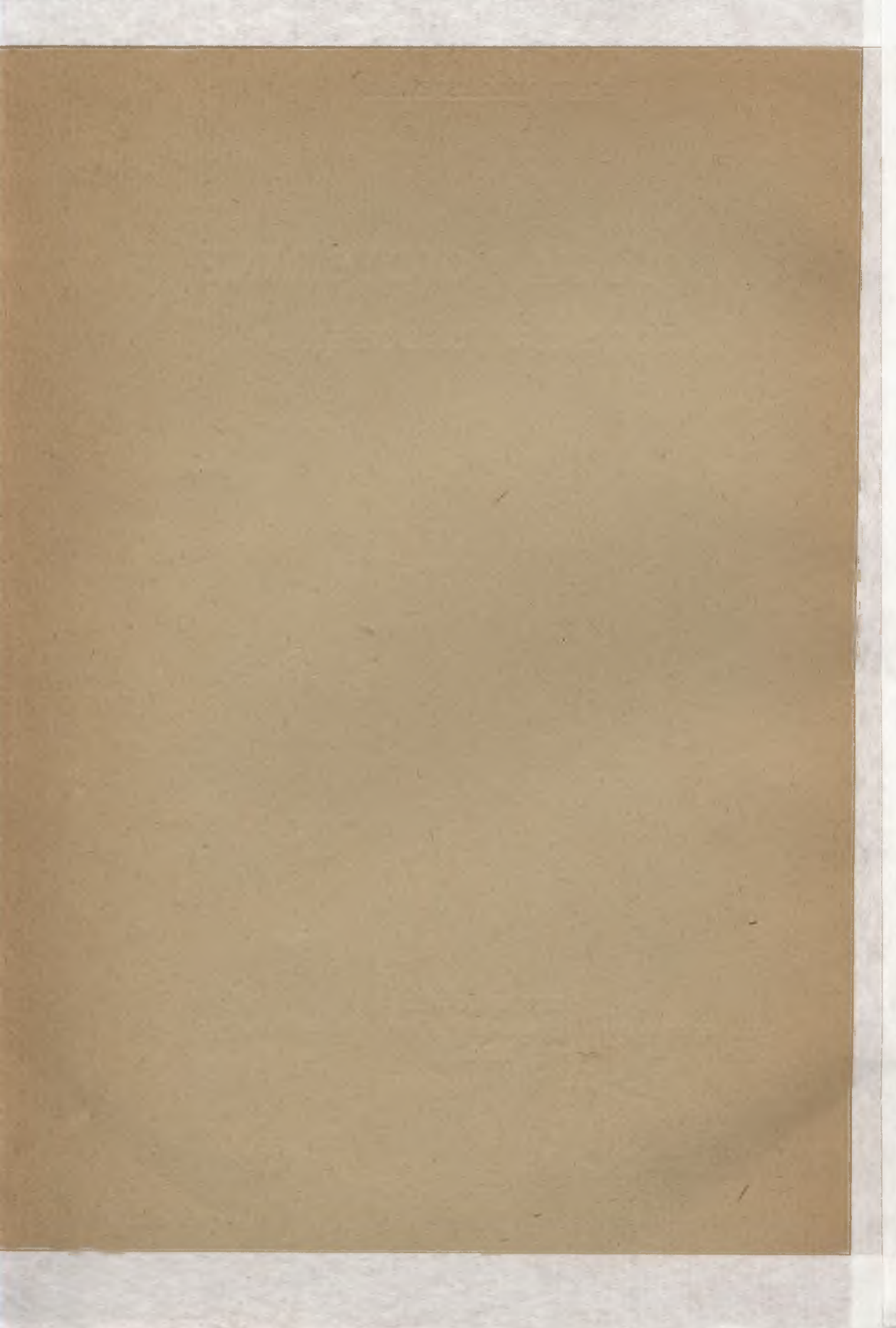
17947
13 Z
B 17369
DR. LEON ZBYSZEWSKI

FIZYOLOGIA I ODDYCHANIE

(MECHANIZM I UNERWIENIE)

W KRAKOWIE

DRUKARNIA UNIwersytetu Jagiellońskiego pod zarz. J. Filipowskiego
1914.



DR. LEON ZBYSZEWSKI

FIZYOLOGIA I ODDYCHANIE

(MECHANIZM I UNERWIENIE)

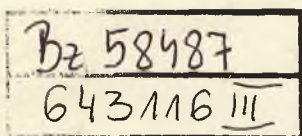


12942. 2
XIII

W KRAKOWIE

DRUKARNIA UNIwersYTETU JAGIELLOŃSKIEGO POD ZARZ. J. FILIPOWSKIEGO
1914.

Osobne odbicie z podręcznika p. t. „Fizyologia człowieka“ 1913—1914.



B17369



35,-

ODDYCHANIE.

MECHANIZM ODDECHOWY I JEGO CZYNNOŚĆ.

Napisał

Dr. Leon Zbyszewski.

Uwagi ogólne.

Wszystko, co żyje, oddycha, to znaczy pobiera tlen z otoczenia, a wydziela bezwodnik węglowy; obecność tlenu jest jednym z najistotniejszych warunków życia komórek zwierzęcych. Tlen bowiem jest czynnikiem, podtrzymującym spalanie i przemiany chemiczne organizmu. Zadośćuczynienie koniecznej i bezwzględnej potrzeby tlenu przychodzi do skutku zapomocą odpowiednich urządzeń, które, bardzo proste i niewyróżniczkowane u najniższych tworów żyjących, coraz bardziej się komplikują u zwierząt kręgowych i u człowieka, tworząc u tych ostatnich samoistny narząd oddechowy, którego już jedynym celem jest zaopatrywanie organizmu w odpowiednią ilość tlenu. U niższych zwierząt jak n. p. u tworów jednokomórkowych (ameby, wymoczki, drożdże i t. p.) wymiana gazów odbywa się bezpośrednio między ciałem komórki a środowiskiem, w którym komórka żyje. U zwierząt, znajdujących się na wyższym szczeblu rozwoju, elementa anatomiczne organizmu stykają się z środowiskiem, w którym one żyją, za pośrednictwem cieczy (hemolimfa, krew), która dostarcza im tlenu, a odbiera bezwodnik węglowy. W końcu u wyższych jeszcze zwierząt: u kręgowców i u człowieka, wymianę gazów między ustrojem a środowiskiem zewnętrznem uskuteczniają narządy specjalne, wyróżniczkowane

i tak przystosowane, ażeby ta wymiana gazów odbywała się jak najszybciej i jak najdokładniej. Narządy te są różne, zależnie od środowiska, w którym zwierzę żyje: są to skrzela u zwierząt żyjących w wodzie, a tchawki i płuca u zwierząt żyjących w powietrzu.

Niektóre ustroje oddychają tylko zapomocą tlenu wolnego; takie oddychanie nazywamy oddychaniem tlenowem (aerobia), inne zużytkowują tlen, znajdujący się w połączeniu chemicznem; ten rodzaj oddychania nazywamy oddychaniem beztlenowem (anaerobia). Oddychanie beztlenowe istnieje tylko u istot jednokomórkowych. Ale bez względu na sposób, w jaki tkanka żywa otrzymuje swój tlen, proces ten polega na całym szeregu zjawisk fizyczno-chemicznych, utrzymujących daną tkankę, a zatem i cały organizm, w ciągłym rozwoju i przemianie organicznej.

Oddychanie płucne.

Zjawiska oddychania poznano dopiero stosunkowo niedawno, mimo że są to procesy fizyologiczne, które musiały przed innymi zwrócić na siebie uwagę. Wszakżeż, jak życie uczy, oddychanie odbywa się z bezwzględną koniecznością, rozpoczyna się równocześnie z życiem, a ustaje wraz ze śmiercią ustroju.

Pierwszy Lavoisier, chemik francuski (1776), podał chemiczny skład powietrza, a drogą analizy chemicznej wyjaśnił zjawiska spalań organicznych i samo oddychanie. Określił on to ostatnie jako powolny proces spalań chemicznych w organizmie żyjącym, przyjął jednak mylnie, że to spalanie odbywa się wyłącznie tylko w samych płucach. Później Spalanzani, William Edwards wykazali doświadczalnie, że w płucach odbywa się tylko wymiana gazów, że płuca więc są tylko pośrednikiem między tlenem powietrza, a krwią, krążącą w naczyniach krwionośnych płuc. Pochłonięty tlen, znajdujący się w drogach oddechowych, zostaje doprowadzony przez krew do różnych tkanek, które go zużytkowują, a w zamian oddają krwi, jako końcowy produkt procesów chemicznych, bezwodnik węglowy. W latach ostatnich podjęli Bohr i Henriques (1897) na nowo badania celem stwierdzenia, czy tkance płucnej nie należy przyznać w procesach oksydacyjnych ustroju szczególniejszego jakiegoś znaczenia. O wynikach tych badań będzie mowa niżej.

W czynności oddechowej ustroju odróżniamy dwa główne procesy: pierwszym jest t. zw. oddychanie zewnętrzne, czyli płucne, które sprawia, że tlen przechodzi z powietrza do krwi, a bezwodnik węglowy z krwi do powietrza, a drugim procesem jest t. zw. oddychanie wewnętrzne, czyli tkankowe, w którym następuje wymiana gazów między krwią a elementami anatomicznymi narządów.

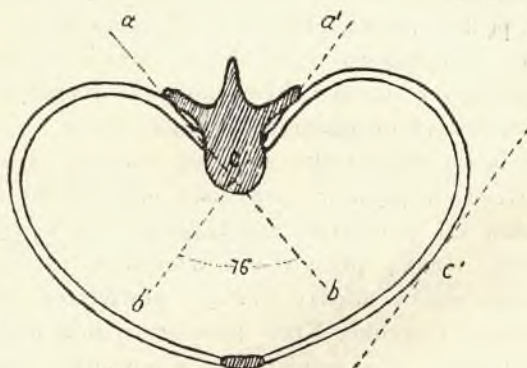
Budowa płuc. Nie wchodząc w szczegóły budowy anatomicznej i histologicznej, możemy ze stanowiska fizyologicznego uważać płuca jako rodzaj gruczołów, w których czynność właściwą dróg wydzielniczych spełniają rozgałęzienia dróg oddechowych, a jako komórki wydzielnicze uważać można końcowe rozszerzenia tych dróg, zwane pęcherzykami płucnymi. Pęcherzyki te wyścielone są nabłonkiem jednowarstwowym, który styka się bezpośrednio z siecią włoskowatych naczyń krwionośnych, rozgałęziających się wśród ścian pęcherzyków płucnych. Ściany tych naczyń włoskowatych składają się także tylko z jednej warstwy śródbłonka naczyniowego. Krew, krążąca w naczyniach włoskowatych płuc, jest więc oddzielona od powietrza, znajdującego się w pęcherzykach płucnych, bardzo cienką przegrodą, i właśnie ta okoliczność sprawia, że wymiana gazów między krwią a powietrzem może się odbywać nieustannie i szybko. Krew traci bezwodnik węglowy, który uchodzi do powietrza, a w zamian tlen z powietrza przechodzi do krwi i łączy się z hemoglobiną ciałek czerwonych. Jeżeli ta wymiana gazów ma być ciągłą, niezbędną jest rzeczą nie tylko ciągła wymiana krwi, co przychodzi do skutku drogą krążenia, ale także i wymiana powietrza. Warunki, które umożliwiają wymianę powietrza, zależne są od dwóch czynników, od własności tkanki płucnej i od budowy klatki piersiowej, w której — u wszystkich zwierząt ssących — płuca są zamknięte. Płuca zawierają w tkance swej wielką ilość włókien elastycznych i przez to mogą zwiększać lub zmniejszać swoją objętość.

Właściwym czynnikiem, który umożliwia przemianę powietrza w płucach, są ruchy klatki piersiowej, która naprzemian się rozszerza lub zapada, skutkiem czego powstaje pewien rytm, który nazywamy rytmem oddechowym. Utrzymanie tego rytmu i jego prawidłowość zależne są od układu nerwowego centralnego.

Warunki mechaniczne oddychania. Klatka piersiowa jest szczelnie zamknięta tak, że płuca w niej umieszczone stykają się z po-

wietrzem zewnętrznem tylko drogą tchawicy. Dzięki więc tej budowie anatomicznej z jednej strony, a samej elastyczności tkanki płucnej z drugiej strony, płuca postępują za każdą zmianą objętości klatki piersiowej. Rozszerzenie się zatem klatki piersiowej, czyli wdech, sprawia też i rozdęcie płuc, zmniejszenie się zaś objętości klatki piersiowej, czyli w *y d e c h*, pociąga za sobą zapadanie się płuc. Chcąc zrozumieć przebieg poszczególnych okresów aktu oddechowego, potrzeba poznać warunki mechaniczne, wśród których następuje rozszerzanie względnie zmniejszanie się klatki piersiowej.

Klatka piersiowa rozszerza się w trzech wymiarach: w wymiarze przednio-tylnym, w poprzecznym i w pionowym. Rozszerze-



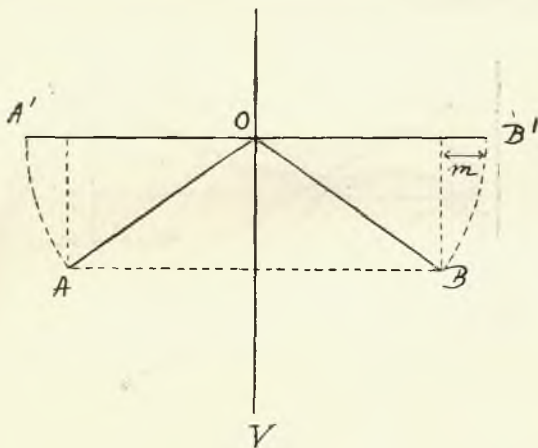
Ryc. 63.

Rzut poziomy pierścienia stworzonego przez 5-tą parę żeber.
ab i *a'b'* osi obrotów obu stawów między żebrem a trzonem kręgu, kąt skrzyżowania wynosi 76° . Styczna *c'* równoległa do osi *a'b'*, oznacza miejsce najwyższego wzniesienia się żebra podczas wdechu.

nie się w kierunku przednio-tylnym i poprzecznym przychodzi do skutku zapomocą ruchu żeber i jest spowodowane przez sposób przyczepienia się żeber do kręgosłupa. Jak wiadomo, każde żebro przymocowane jest do kręgosłupa zapomocą dwóch stawów: jeden tworzy główka żebra z trzonami dwóch sąsiadujących ze sobą kręgów, a drugi tworzy szyjka z wyrostkiem poprzecznym kręgu. Ustawienie tych stawów do siebie jest takie, że oś, przechodząca przez te dwa stawy schodzi się zbieżnie z osią drugiej (symetrycznej) pary stawów. Osie te tworzą kąt zmniejszający się od szyi ku do-

łowi coraz bardziej. W kręgach szyjnych kąt ten wynosi 125° , w części piersiowej kręgosłupa zmniejsza się aż do $75-76^{\circ}$ (Volkman, patrz ryc. 63).

Podczas ruchu punkta przyczepienia się żeber do kręgosłupa nie mogą zmienić wzajemnego stosunku do siebie, czyli, żebro może się tylko obracać naokoło osi, przebiegającej przez te punkta przyczepienia. Ponieważ żebra ustawione są nieco skośnie tak, że odległość górnych brzegów każdej pary jest mniejsza niż dolnych, a nadto wskutek skośnego przebiegu osi obrotu, przeto żebra podczas podnoszenia się do góry oddalają się równocześnie od środkowej płaszczyzny ciała.



Ryc. 64.

Schemat pozornego wydłużania się żeber w kierunku poprzecznym.

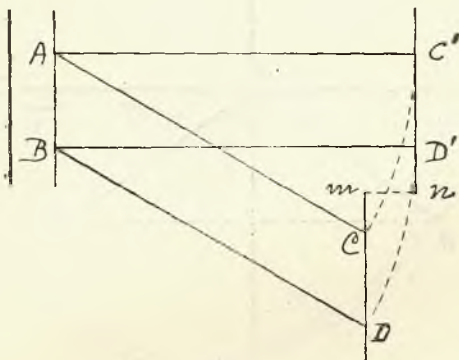
szczyzny ciała. To rozchodzenie się żeber już wystarcza, że wymiar poprzeczny klatki piersiowej wzrasta.

Schemat łatwiej to nam objaśni (patrz ryc. 64). Linia OV przedstawia kręgosłup, zaś linie OA i OB jedną parę żeber. Przypuśćmy, że są one całkiem proste na przestrzeni od O miejsca przyczepienia do kręgosłupa do A i B punktów największego skrzywienia. Kierunek tych żeber, jak widać, tworzy z kręgosłupem kąt ostry otwarty na zewnątrz i ku dołowi, przekrój poprzeczny na wysokości tych żeber oznacza nam długość linii AB . Gdy żebra się podnoszą, kąt coraz bardziej się zwiększa, zaś punkta A i B zakreślają łuki, AA' , BB' tak, że w tem ustawieniu żeber przekrój poprzeczny jest już $A'B'$, który więc od poprzedniego przekroju AB powiększył się o dwukrotny odcinek m .

Tak samo i ruch obrotowy każdego żebra naokoło swojej osi podłużnej przyczynia się do wzrostu przekroju poprzecznego klatki

piersiowej, a to wskutek tego, że górna krawędź oddala się od płaszczyzny środkowej ciała.

Rozszerzenie się klatki piersiowej w kierunku przednio-tylnym może nastąpić tylko przez oddalenie się w płaszczyźnie strzałkowej punktów końcowych, a że żebra są podwójnie umocowane do kręgosłupa, mogą się one rozciągnąć tylko ku przodowi, a zatem wypychać mostek ku przodowi. Ruch ten mostka staje się zrozumiałym, jeżeli sobie uprzytomnimy, że wtedy, kiedy klatka piersiowa znajduje się w fazie wydechowowej, żebra biegną bardziej skośnie, tak, że ich przyczepy do kręgosłupa są wyżej umieszczone niż przyczepy mostkowe.



Ryc. 65.

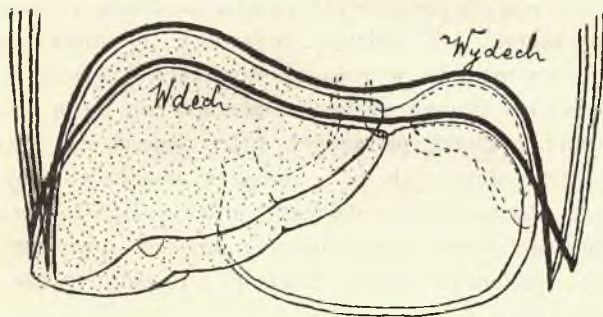
Schemat ruchu żeber. Wydłużanie się przekroju strzałkowego.

Schematycznie można to widzieć na rycinie 65 (linia AB oznacza kręgosłup, linie AC i BD żebra, linia CD mostek). Gdy żebra się podnoszą, ustawiają się one n. p. w pozycji $AC'D'$ a równocześnie obracają się naokoło osi w stawach kręgowych, tak, że zakreślają łuki CC' i DD' , tem samem i mostek nie tylko że się podnosi n. p. do pozycji $C'D'$, ale i oddala się od kręgosłupa. Tutaj widać, że przekrój strzałkowy klatki piersiowej przedłużył się o odcinek mn .

Oddalanie się mostka od kręgosłupa nie jest jednostajne, to znaczy, że mostek nie wysuwa się równolegle, nie wszystkie żebra wysuwają go z tą samą siłą ku przodowi. Rzecz miałaby się tak tylko w razie, gdyby długość żeber była równa, tymczasem są one różnej długości. Jeśli weźmiemy żebro jako łuk, to długości cięciw tych łuków żebrowych różnią się między sobą. Nierówność ta powoduje, że siła, działająca na mostek przy wzniesieniu się

każdego żebra, stoi w prostym stosunku do długości cięciwy. Dlatego też najbardziej wysuwają mostek ku przodowi szóste, siódme i ósme żebro, które są najdłuższe.

W kierunku pionowym ku dołowi rozszerza się klatka piersiowa dzięki ruchom przegrody mięśniowej t. j. przepony, odgradzającej klatkę piersiową od jamy brzusznej. Przepona ma kształt sklepienia z wypukłością, wchodzącą do jamy klatki piersiowej. W czasie wydechu krzywizna jej sięga do wysokości piątego międzyżebra, zaś część obwodowa przytyka do ściany klatki piersiowej, tworząc wąską szczelinę. Gdy mięsień przepony podczas wdechu się kurczy, krzywizna jej się spłaszcza, a część obwodowa od-



Ryc. 66.

Ustawienie przepony i trzew brzusznych w czasie wdechu i wydechu.

dała się od żeber, w ten sposób powstaje szersza rozstrzeń, w którą wchodzi dolny brzeg płuc (patrz ryc. 66). Równocześnie przepona kurcząc się uciska na trzewia brzuszne, które w dalszym ciągu wywierają pewien nacisk na powłoki brzuszne i wtedy wraz z rozszerzaniem się klatki piersiowej i ściana brzuszna wypchną zostaje ku przodowi.

Mięśnie oddechowe. Ruchy części kostnej narządu oddechowego przychodzą do skutku działaniem mięśni, które też nazywamy w ogólności mięśniami oddechowymi. Mięśnie czynne podczas wdechu nazywamy mięśniami wdechowymi, czynne zaś podczas wydechu wydechowymi.

Mięśniami współdziałającymi stale przy każdym wdechu są prócz przepony, której ruchy, wyżej omawiano, mięśnie międzyże-

browe zewnętrzne (*mm. intercostales externi*) i mięśnie pochyłe (*mm. scaleni*). Przy głębszym wdechu współdziałają jeszcze mięśnie zębate tylne górne (*mm. serrati postici superiores*) i mięśnie dźwigające żebra (*mm. levatores costarum*).

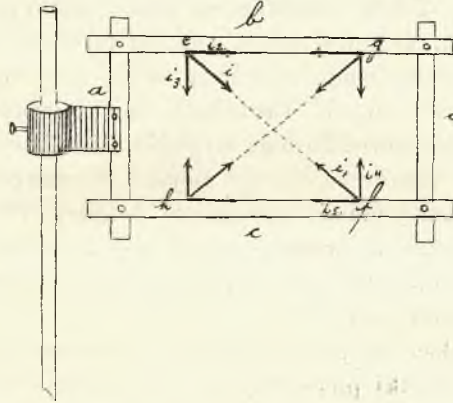
Włókna wszystkich tych mięśni mają prawie ten sam kierunek od tyłu ku przodowi, z góry na dół i od wewnątrz ku zewnątrz, i tak mięśnie międzyżebrowe zewnętrzne przyczepiają się do wyrostka poprzecznego któregoś z kręgów, schodzą skośnie do żebra poniżej biegnącego i działają na daną parę żebra. Mięśnie pochyłe przyczepiają się do wyrostków poprzecznych kręgów szyjnych i podnoszą pierwsze dwie pary żebra, mięśnie zębate tylne górne przyczepiają się do wyrostków kołczastych ostatniego kręgu szyjnego i pierwszych piersiowych i podnoszą drugą, trzecią, czwartą i piątą parę żebra. Jak widzimy, wszystkie te mięśnie mają swe tylne przyczepy ustalone w różnych miejscach kręgosłupa.

Przy bardzo silnych ruchach oddechowych biorą także udział i mięśnie szyi i klatki piersiowej, które jednak nie przyczepiają się już do kręgosłupa, jak n. p. mięsień mostkowo-obojęzykowo-sutkowy (*m. sterno-cleido-mastoideus*), który podnosi mostek a zatem i żebra do niego przyczepione; mięsień piersiowy wielki i mały (*mm. pectorales major et minor*) i mięśnie zębate przednie (*mm. serrati antici*).

Już na podstawie stosunków anatomicznych można sobie łatwo zdać sprawę ze sposobu działania poszczególnych grup mięśni oddechowych. Wyjątek jednak stanowią mięśnie międzyżebrowe, których rola była już trudniejszą do wyjaśnienia i dlatego też w tym kierunku ześrodkowały się głównie badania co do funkcji mięśni oddechowych. Sądziłi niektórzy, że tak mięśnie międzyżebrowe wewnętrzne jak i zewnętrzne są mięśniami wdechowymi; inni przeciwnie, że są to mięśnie jedynie wydechowe. Już badania Hamburgera z XVIII. wieku, które potwierdzone zostały później przez Hutchinsona, Bernouille'go, Nevel-Martina i Hartwella utorowały drogę panującemu dziś zapatrywaniu, że mięśnie międzyżebrowe zewnętrzne, podnosząc żebra do góry, są mięśniami wdechowymi, a mięśnie międzyżebrowe wewnętrzne, ściągając żebra ku dołowi, są mięśniami wydechowymi. Badania też stwierdziły, że podczas wydechu, kiedy żebra się obniżają, przyczepy mięśni międzyżebrowych zewnętrznych oddalają się od siebie, czyli że włókna mięśniowe są wówczas dłuższe, są w rozkurczu, a prze-

ciwnie podczas wdechu, gdy żebra się podnoszą, przyczepy te mięśniowe zbliżają się do siebie, czyli że włókna mięśniowe skracają się a sam mięsień się kurczy. Odwrotnie zachowują się mięśnie międzyżebrowe wewnętrzne, skracają się podczas ruchu wydechowego, a natomiast wydłużają się podczas wdechu.

Hamberger a później Bernouilli zapomocą odpowiednio zbudowanych modeli schematycznych objaśnili rolę mięśni międzyżebrowych. Wprawdzie schematy te nie oddają wiernie całego przebiegu skomplikowanego zjawiska fizyologicznego, mogą jednakże ułatwić zrozumienie mechanicznego działania mięśni.



Ryc. 67.

Schemat Bernouillego.

e, f kierunek mięśni żebrowych zewnętrznych; h, g mięśni wewnętrznych; a stos pacierzowy, d mostek, b i c żebra.

Schemat Bernouille'go (patrz ryc. 67) przedstawia się tak:

W równoległoboku $abcd$ bok a przedstawia kręgosłup; d mostek, zaś b i c dwa żebra przymocowane z jednej strony do kręgosłupa, z drugiej strony połączone ze sobą zapomocą mostka d . Pomiedzy żebrami rozpięte są po jednej parze tylnych nówek żabich w kierunku linii kreskowanych ef i gh . Drażniąc te łapki naprzemian zapomocą prądu indukcyjnego, widzimy, że podczas kurczenia się mięśni ef „żebra“ podnoszą się do góry, podczas drażnienia mięśni gh obniżają się ku dołowi. Ruch ten jest następstwem sił działających na „żebra“ w punktach przyczepienia do nich. Na punkta e i f podczas skurczu działają siły ei i fi . Siły te rozłożyć można na siły ei_2 , ei_3 , fi_4 , fi_5 . Z tych czterech sił siły ei_2 i fi_5 są bezskuteczne, gdyż przeciwdziałają im spójność cząstek dźwigni, zaś z pozostałych skuteczną będzie tylko siła fi_4 , bo ramię dźwigni, z którą ona pracuje jest dłuższe, aniżeli ramię dźwigni siły ei_3 . Tęsamem cały równoległobok podniesiony zostanie do góry. W przeciwnym kierunku działać będą siły w punktach zaczepienia g i h .

Uwzględniliśmy dotychczas głównie stosunki podczas wdechu, należy teraz bliżej nieco zastanowić się i nad drugą fazą oddechową.

Wydech przychodzi do skutku już sam przez się, po ustaniu czynności wdechowej. Widzieliśmy, że w następstwie zwiększenia się klatki piersiowej, płuca się rozdymają, a więc zmieniają też swój kształt naturalny. Rozszerzenie się jednak klatki piersiowej i płuc wymaga pokonania oporu własnej ich elastyczności. To też z chwilą, gdy skurcz mięśni wdechowych ustaje, siły pokonujące elastyczność tkanek tem samem ustają i płuca dążą do uzyskania swego pierwotnego kształtu, zapadają się i pociągają za sobą całą klatkę piersiową. Także i elastyczność ściany klatki piersiowej zwłaszcza w części chrząstkowej żeber wchodzi tu w grę, bo żebra podnosząc się, jak widzieliśmy, zmieniają swoją krzywiznę, a obecnie obniżając się przy nowych warunkach mechanicznych także dążą do uzyskania swego prawidłowego wygięcia. Jednocześnie także przepona, obecnie w rozkurczu, zostaje niejako automatycznie przez zapadającą się tkankę płucną pociągniętą do góry. W dodatku trzewia i powłoki brzuszne przemieszczane podczas wdechu wracają do zwykłego swego ułożenia, przyczem szczególnie żołądek i jelita wysuwają przeponę do góry.

Z tego widać, że przy wydechu w warunkach normalnych zmniejszanie się klatki piersiowej nie jest spowodowane przez stan czynny mięśni, lecz jest jedynie następstwem działania sprężystości i ustania stanu czynnego mięśni wdechowych. Dlatego też uważa się wdech jako fazę czynną, a wydech jako fazę bierną aktu oddechowego. Różnica ta jednak w mechanizmie ruchu oddechowego zacierą się poniekąd podczas oddychania głębokiego. Głęboki wydech przychodzi do skutku przez działanie mięśni, w pierwszym rzędzie mięśni międzyżebrowych wewnętrznych (*mm. intercostales interni*) oraz mięśni brzucha: mięsień prosty brzuszny (*m. rectus abdominis*), mięsień poprzeczny (*m. transversus*), mięśnie skośne brzuszne zewnętrzne i wewnętrzne (*mm. obliqui abdominis externus et internus*). Mięśnie brzucha prócz tego, że także ściągają częściowo żebra ku dołowi, równocześnie uciskają trzewia brzuszne, a temsamem pośrednio powodują, że przepona bardziej się wpukla do klatki piersiowej. W końcu w głębokim wydechu klatka piersiowa zostaje jeszcze ściśnięta przez skurcz mięśnia mostkowego (*m. triangularis sterni*), m. zębatego grzbietowo-dolnego (*m. serratus posticus infe-*

rior), mięśnia czworobocznego lędźwiowego (*m. quadratus lumborum*) i mięśnia najszerszego grzbietu (*m. latissimus dorsi*). W obu tych fazach oddechowych widzimy, że między przeponą a skurczem mięśni powłok brzusznych istnieje pewien antagonizm, bo gdy mięsień przeponowy, kurcząc się podczas wdechu, spycha trzewia brzuszne ku dołowi, mięśnie powłok brzusznych, kurcząc się w czasie wydechu, a zwłaszcza wydechu głębokiego, uciskają z zewnątrz organa jamy brzusznej, unoszą je tem samem do góry a one ze swej strony wgłębiają przeponę do jamy opłucnowej, zwłaszcza, że włókna jej mięśniowe obecnie są w rozkurczu. Temu antagonistycznemu zachowaniu się przepony i mięśni brzusznych przeciwstawia się niekiedy działanie synergetyczne, wówczas, gdy chodzi n. p. o wywarcie silnego nacisku na trzewia brzuszne. W takich razach kurczą się równocześnie i mięśnie powłok brzusznych i przepona. Siłę tę obopólną określamy jako tłocznję brzuszną. Z powodu, że ruchy przepony są nieznaczne, albowiem przeciwstawiają im się skurcze mięśni brzusznych, tłocznia brzuszna nie przyczynia się do zmiany objętości klatki piersiowej, a zatem w mechanizmie oddechowym nie bierze czynnego udziału, natomiast współdziała przy porodzie, przy akcji wymiotów i przy oddawaniu kału.

Ruchy płuc. Od chwili pierwszego wdechu płuca dopóki pozostają w nienaruszonej klatce piersiowej, są zawsze mniej lub więcej rozdęte. Dzięki jednak elastyczności swej dążą bezustannie do zmniejszenia swej objętości, a tem samem wywierają pewne pociąganie na blaszkę opłucnową, która je otacza. Ponieważ jednak worek opłucnowy jest szczelnie zamknięty i blaszka trzewiowa opłucnej styka się bezpośrednio z blaszką ościenną, przeto siła elastyczności płuc, działająca na blaszkę wisceralną opłucnej, przenosi się i na jej blaszkę ościenną. Na ściany więc klatki piersiowej działa od wewnątrz siła elastyczności tkanki płucnej i to tak dalece, aż dopóki nie zostanie ona zrównoważona przez elastyczność samej ściany klatki piersiowej, działającej na blaszkę opłucnową ościenną w przeciwnym kierunku. Mamy tutaj dwie siły przeciwne, które dążą do rozszerzenia worka opłucnego, czyli do oddalenia obydwóch blaszek opłucnej od siebie. A zatem przestrzeń w tym worku zawarta nie znajduje się pod ciśnieniem jednej całej atmosfery, lecz zawsze pod ciśnieniem zmniejszonym o napięcie elastyczne płuc i ścian klatki piersiowej. To ciśnienie w worku osierdziowym lub opłucnowym niższe od ciśnienia w samych płucach

lub na zewnątrz klatki piersiowej, nazywamy ciśnieniem ujemnem klatki piersiowej (ciśnienie wśródklatkowe, czyli intratorakalne).

Rozważmy bliżej te stosunki ciśnienia w wypadku, gdy oddychanie ustało i podczas ruchów oddechowych.

Weźmy ustawienie wdechowe, kiedy przy otwartych drogach oddechowych, ciśnienie powietrza z zewnątrz szybko wyrównuje ciśnienie, które nastąpiło w drogach oddechowych w chwili rozszerzenia się płuc. Wtedy na blaszkę opłucnową płuc powinnyby działać całe ciśnienie atmosferyczne. Ale wiemy już, że blaszkę tę ciągnie od wewnątrz sama elastyczność płuc, więc na niej spoczywa nie cała atmosfera, tylko zmniejszona o wielkość tej siły elastyczności tkanki płucnej. Tak samo i na blaszkę opłucnową ościenną działa od zewnątrz cała atmosfera, a od wewnątrz ciągnie siła elastyczności klatki piersiowej. Zatem na obu tych blaszkach opłucnej, przy zastanowionem oddychaniu spoczywa siła równa ciśnieniu atmosferycznemu, zmniejszona o siłę sprężystości płuc. O tem można się łatwo przekonać na zwłokach ludzkich lub zwierzęcych, kiedy otwieramy klatkę piersiową: powietrze, wchodząc do worka opłucnowego, wyrównuje ciśnienie tam panujące z ciśnieniem atmosferycznem, a płuca zapadają się. Jeżeli n. p. w otwór klatki piersiowej włożymy manometr (L. Fredericq) lub założymy manometr do tchawicy, a następnie otworzymy klatkę piersiową (Donders), to możemy mierzyć nie tylko ciśnienie ujemne panujące w worku opłucnowym, lecz także i siłę elastyczności płuc. Siła ta wzrasta, tembardziej, im płuca są bardziej rozszerzone, to też podczas wdechu zwiększa się ciśnienie ujemne, panujące w worku opłucnowym, gdyż większa część ciśnienia atmosferycznego zostanie zużyta na pokonanie sprężystości płuc. Podczas wdechu wynosi to ciśnienie około 30 mm. podczas wydechu do 6 mm. Hg. Wartości te podają nam tem samem siłę elastyczności płuc podczas wdechu i wydechu, i wskazują miarę sił, przy której, z jednej strony płuca, z drugiej klatka piersiowa dochodzą podczas wdechu lub wydechu do równowagi.

W czasie ruchów oddechowych istnieją już inne warunki, które wpływają na zmianę ciśnienia w worku opłucnowym. Wtedy nie wyrównuje się ciśnienie wewnętrzne, panujące w klatce piersiowej, tak szybko, jak szybko zmienia się sama objętość klatki piersiowej. Gdy się klatka piersiowa rozszerza, to nawet przy otwartych drogach oddechowych w samych płucach następuje najpierw

rozrzedzenie się powietrza tam istniejącego tak, że chwilowo na opłucną płuc działa tylko ciśnienie powietrza rozrzedzonego, zmniejszone o siłę napięcia elastycznego tkanki płucnej. A jeszcze bardziej ma to miejsce przy zamkniętych drogach oddechowych, bo wówczas siła, która rozszerza klatkę piersiową, zużywa się prawie w całości do wywołania różnicy ciśnień na zewnątrz i na wewnątrz klatki piersiowej, różnicy, która przy silnych oddechach może dojść do 80 mm. Hg. Różnica ta zwiększa nam tylko już panującą różnicę między ciśnieniem w worku opłucnowym a powietrzem zewnętrznym. Tak samo i wtedy gdy klatka piersiowa się zapada, nie całe powietrze ulega zgęszczeniu, a ciśnienie jego może nie tylko wyrównać, ale i przewyższyć siłę elastyczności tkanki płucnej. Wtedy w worku opłucnowym ciśnienie ujemne zmniejsza się, a nawet przy silnych oddechach może w worku opłucnowym chwilowo panować ciśnienie dodatnie.

Z okoliczności, że w worku opłucnowym istnieje zawsze ciśnienie ujemne, wynika, jak widzieliśmy, że nawet u zwłok, płuca po otwarciu klatki piersiowej zapadają się. U żyjących work opłucnowy może być otwarty bądź przez zranienie, bądź n. p. z powodu zmian chorobowych i to tak z zewnątrz, jak i z wewnątrz klatki piersiowej, w wypadkach, gdy oskrzela otwierają się wprost do jamy opłucnowej. Stan taki nazywamy odmą piersiową *pneumothorax*.

Ciśnienie ujemne wpływa także i na inne organa, znajdujące się w klatce piersiowej, na serce i na wielkie naczynia i wywiera w ten sposób wpływ na ciśnienie w układzie krążenia (p. niżej).

Zmiany ciśnienia w płucach. Zmiany w objętości klatki piersiowej i płuc zmieniają oczywiście i ciśnienie powietrza w samych płucach i drogach oddechowych. Przewietrzanie płuc następuje tylko z tego właśnie powodu, że przy rozszerzaniu się klatki piersiowej powietrze wewnątrz płuc rozrzedza się, ciśnienie w drogach oddechowych i pęcherzykach płuc się zmniejsza i powietrze z zewnątrz wpada do dróg oddechowych; podobnie podczas wydechu wskutek zwiększenia ciśnienia powietrze z płuc uchodzi na zewnątrz. Przy spokojnych oddechach i przy otwartych drogach oddechowych wahania ciśnienia powietrza w drogach oddechowych i w płucach nie są bardzo wielkie. Mierzyć możemy te wahania znowu przez połączenie manometru z tchawicą lub u człowieka z jamą ust albo z nozdrzami. Przy wdechu u człowieka opada słup rtęci w ma-

nometrze mniej więcej o 1 mm., podczas wydechu podnosi się o 2 do 3 mm. Przy utrudnionem oddychaniu natomiast wahania te są o wiele większe. Jeżeli n. p. nozdrza są zatkane lub tchawica zwężona, to różnice mogą dochodzić od — 60 do — 75 mm., podczas wdechu i od + 2 do + 100 mm. słupa rtęci podczas wydechu. W ogóle w takich razach prócz samej głębokości wykonanych oddechów, także i stan rozwoju mięśni oddechowych wpływa na miarę różnicy w ciśnieniu płucnem. Tą drogą można mierzyć siłę mięśni klatki piersiowej.

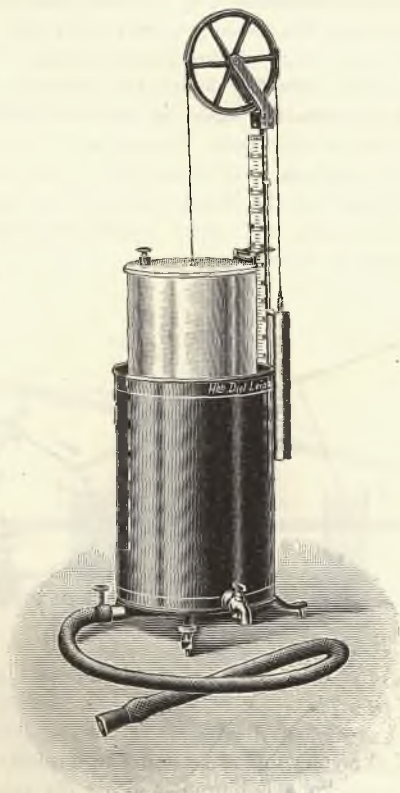
Spirometria. Głównem zadaniem oddychania jest, jak już wiemy, ciągle odnawianie powietrza w płucach przez wymianę gazów między powietrzem wprowadzonym, a powietrzem, znajdującem się w drogach oddechowych i w pęcherzykach płucnych. Wymiana ta odbywa się tem szybciej, im częściej nowe ilości powietrza atmosferycznego wchodzi do płuc, czyli im częstsze są oddechy oraz im większe ilości powietrza za każdym wdechem wprowadzane są do płuc, im oddechy są głębsze. Człowiek dorosły podczas spokojnego oddychania wykonywa około 16 do 19 oddechów na minutę. U dziecka częstota oddechów jest większa, n. p. dziecko jednoroczne przeciętnie oddycha 40—44 razy na minutę. Wielkość oddychania t. j. ilość powietrza, wprowadzonego do płuc, zwykle się podaje w litrach i na 1 minutę czasu. Przy spokojnem oddychaniu ilość powietrza oddychanego wynosi 4—7 litrów, podczas pracy fizycznej wzrasta do 50 litrów. Jeżeli tę ilość podzielimy przez liczbę oddechów w tym samym czasie, otrzymamy wielkość objętości powietrza, przypadającą na jeden wdech, względnie wydech. U człowieka objętość powietrza wdychanego i wydychanego oznacza się zapomocą przyrządu, zbliżonego w swej budowie do zwykłych gazometrów i noszącego nazwę spirometru. Jednym z najczęściej używanych jest spirometr Hutchinsona.

Przyrząd ten składa się z cylindrycznego naczynia blaszanego (p. ryc. 68), napełnionego w $\frac{3}{4}$ wodą, do tego naczynia wchodzi drugie o nieco mniejszym obwodzie, odwrócone dnem do góry, zawieszone przez bloczek na łańcuszku i zrównoważone zapomocą przeciwwagi, tak, iż naczynie może w każdym ustawieniu być zrównoważone.

Do ściany cylindra pierwszego, przymocowana jest podziałka centymetrowa, na której odczytać można wysokości wzniesień lub obniżen się cylindra, zanurzającego się do wody, wskaźnik zaś jest umieszczony na łańcuszku przeciwwagi. Przez dno cylindra zewnętrznego przechodzi rurka metalowa, której długość sięga tak wysoko, że koniec jej wystaje zawsze ponad poziom wody

i znajdującej się w cylindrze zewnętrznym, drugi jej koniec połączony jest z rurką kauczukową, na którą nasadza się rodzaj maski; maskę tak się przykłada do twarzy, że obejmuje usta i nozdrza.

Samo oznaczenie odbywa się w sposób następujący: ustawia się cylinder wewnętrzny zapomocą wskaźnika na punkt zerowy podziałki lub bierze się inną liczbę za punkt zerowy. Przykłada się maskę szczelnie do twarzy i wy-



Ryc. 68.

Spirometr Hutchinsona.

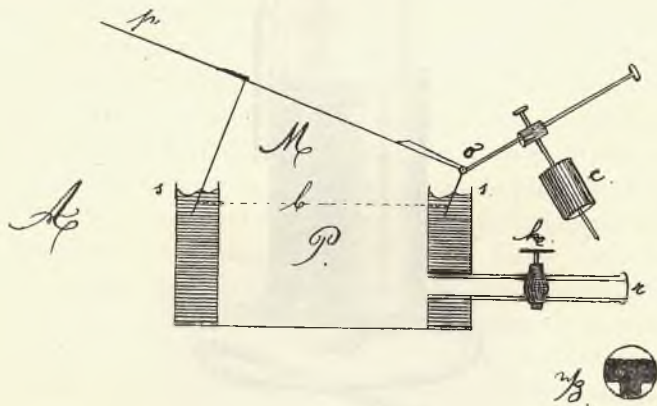
konywa się wydech. Powietrze wydychane wchodzi pod cylinder i podnosi go na pewną wysokość. Z podniesienia się cylindra oznaczyć można ilość powietrza, znajdującego się pod nim. Obliczona objętość powietrza wydychanego nie odpowiada właściwej ilości wydalonej z płuc, albowiem ciepłota powietrza wydychanego obniża się, więc objętość się zmniejsza, tak samo i para wodna pod wpływem niższej ciepłoty zmniejsza swoją prężność. W końcu i ciśnienie baro-

metryczne musi być wzięte w rachubę. Dla uwzględnienia tych danych oblicza się powietrze, które weszło do spirometru wedle równania

$$x = V \cdot \frac{(1 + 0.003665 \cdot 37)}{(1 + 0.003665 \cdot t)} \cdot \frac{(b - b_1)}{(b - b_2)}$$

w którym x oznacza ilość obliczonego powietrza, V ilość powietrza otrzymanego w samym spirometrze, b ciśnienie barometryczne, t temperaturę, b_1 prężność pary wodnej przy temperaturze t , b_2 prężność przy temp. 37°C .

Zapomocą spirometru Hutchinsona można zapisywać i charakter ruchów oddechowych; do tego celu służy piórko, przymocowane do ciężarka, i piszące na walcu okopconym. Dla celów fizyologicznych otrzymywane wartości zapomocą tego przyrządu są dość dokładne, mimo że sama konstrukcja przyrządu jest źródłem pewnych błędów w obliczaniu. Zważmy n. p. że cylinder wewnętrzny wynurzając się z wody zwiększa swój ciężar, gdy ciężar przeciwwagi pozostaje niezmienionym. Z tego też powodu Recklinghausen zmodyfikował pierwotny przyrząd Hutchinsona, tak, ażeby ciężar cylindra był we wszystkich jego ustawieniach zawsze zrównoważony.



Ryc. 69.

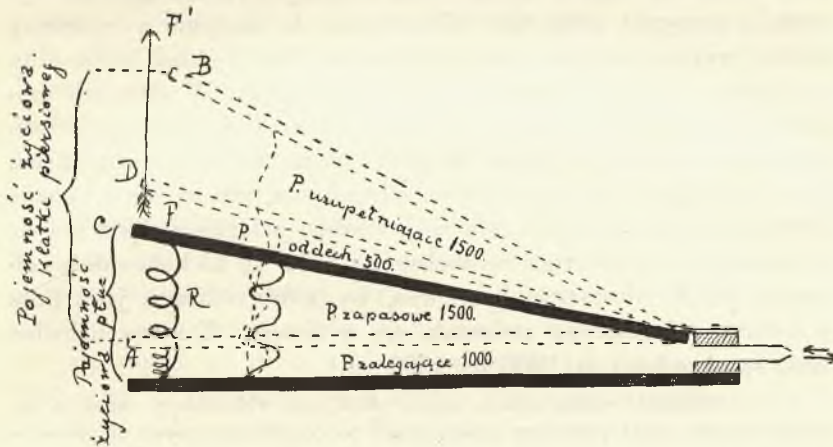
A spiograf Gada; M skrzynka mikowa zanurzona do wody, ss skrzynka o podwójnych ściankach; p piórko, o oś obrotu, c ciężar dla zrównania skrzynki mikowej, k kurek trójramienny; B poprzeczny przekrój kurka.

Zbudowano także i spiometry na wzór suchych zegarów gazowych.

Dla zwierząt, n. p. dla królików, zbudował Gad mały spiometr, który pozwala także zapisywać ruchy oddechowe. Nosi on nazwę aeropletysmografu lub spiografu (ryc. 69).

Przyrząd składa się z dwóch skrzynek, jednej metalowej A , o podwójnych ściankach, drugiej z miki M . Przestrzeń pomiędzy ściankami pierwszej napełnia się wodą, do której się zanurza dnem do góry zwróconą skrzynkę mikową, i w ten sposób zamykamy szczelnie przestrzeń, zawartą między obiema skrzynkami. Skrzynka z miki jest z jednej strony przymocowana do osi O ,

która pozwala, by drugi koniec skrzynki wykonywał ruchy do góry i na dół. Skrzynka ta zaopatrzona jest piórkiem piszącym na walcu okopconym. Skrzynkę mikową zrównoważa ciężarek C . Jeżeli tedy przyrząd połączymy przez rurkę r z tchawicą zwierzęcia, to podczas każdego wdechu ilość powietrza pod skrzynką mikową będzie się zmniejszała, a skrzynka mikowa opadnie, przeciwnie podczas wydechu, ilość powietrza zwiększy się i podniesie skrzynkę do góry. Na walcu piórko zapisuje wychylenia. Aparat sam zmieścić może tylko małą ilość powietrza, gdyby więc zwierzę dłużej do przyrządu oddychało, nastąpiłoby z powodu braku tlenu zaburzenie w oddychaniu. Dla ominięcia tej ewentualności włącza się między tchawicą zwierzęcia, a rurką r przyrządu flaszkę o pojemności 5—10 litrów. Przed użyciem przyrząd musi być empirycznie wykalibrowany.



Ryc. 70.

Schemat pojemności płuc.

A ustawienie klatki piersiowej w najgłębszym wydechu; B ustawienie klatki piersiowej po najgłębszym wdechu; od C do D wahania klatki piersiowej podczas spokojnego oddychania; R sprężyna przedstawiająca sprężystość klatki piersiowej i płuc. Strzałka FF' oznacza kierunek działania sił wdechowych.

Ilość powietrza w płucach. Przy spokojnym oddychaniu wprowadza się podczas wdechu do płuc około 500 cm^3 powietrza i tyleż wydala się z płuc podczas spokojnego wydechu. Powietrze to, które płuca wciągają lub wydalaają podczas spokojnego oddychania, nazywamy powietrzem oddechowym. Po spokojnym wdechu, płuca mogą się dalej rozszerzyć, i mogą jeszcze pomieścić około 1500 cm^3 powietrza. Jest to t. zw. powietrze uzupełniające. Tak samo po spokojnym wydechu płuca mogą wydalić jeszcze około 1600 cm^3 . To powietrze nazywa się powietrzem zapasowym. Objętość wszystkich tych trzech rodzajów powietrza, wynoszącą ra-

zem około 3700 cm^3 , nazywamy pojemnością życiową klatki piersiowej. Jest to więc cała ilość powietrza, jaką płuca wciągają aż do możliwie najgłębszego wdechu i wydają po najgłębszym wydechu. Schematycznie rozdzielenie powietrza podaje nam ryc. 70, w której płuca przedstawione są w formie miechu.

Po najgłębszym wydechu w płucach pozostaje jeszcze pewna ilość powietrza, której za życia nie możemy z płuc wydalić. Powietrze to nosi nazwę powietrza zalegającego. Obliczenie jego objętości odbywa się drogą pośrednią. Metod tego rodzaju podano kilka. Gréhant kazał osobie badanej wykonać głęboki wydech, a następnie oddychać kilkakrotnie do naczynia z oznaczoną ilością czystego wodoru; oznaczył potem ilość i skład mieszaniny powietrza i wodoru, która w naczyniu pozostała. W ostatnich czasach Durig podaje metodę, w której każe osobie badanej, po najgłębszym wydechu wciągnąć do płuc oznaczoną ilość czystego tlenu. Azot znajdujący się w powietrzu zalegającym, miesza się z tlenem. Przypuszczając, że ilość azotu w powietrzu zalegającym jest prawie ta sama, co w powietrzu wydechanem, bada się na końcu doświadczenia skład mieszaniny powietrza, by móc obliczyć, jaka ilość powietrza zalegającego zmieszała się z tlenem. Z różnych badań ilość tę określono na 1200 do 1500 cm^3 .

Po otwarciu worka opłucnowego, płuca, jak widzieliśmy, zapadają się, wtedy uchodzi część powietrza zalegającego; to co uchodzi nazywa się powietrzem zapadowym („kolaptycznem“), resztę, która jeszcze i wtedy pozostaje w pęcherzykach płuc i drobnych oskrzelach, nazwał Hermann „powietrzem minimalnem“. Płuca, w których już w całości lub w pewnych częściach nie ma wogóle powietrza, jak to się dzieje u płodu przed pierwszym wdechem lub w niektórych stanach chorobowych, noszą nazwę płuc bezpowietrznych lub atelektatycznych.

Wentylacja płuc. Gdy oznaczamy powietrze w płucach, niewątpliwie pierwszą myślą, która tu się nasuwa, jest pytanie, czy to powietrze, które sprowadzamy do płuc, służy jako całość do odnowienia powietrza, znajdującego się w pęcherzykach i drogach oddechowych, czy też do tego celu służy tylko jakaś jego część. Badania, które w tym celu zostały wykonane, wykazały, że w odnowieniu powietrza, znajdującego się w płucach, bierze udział tylko część powietrza wdychanego. Gdy po mniej lub więcej głębokim wydechu rozpoczyna się wdech, świeże powietrze, wprowadzone do płuc, wypełnia wpierw całą przestrzeń wolną tchawicy i najszerszych rozgałęzień oskrzeli, podczas gdy powietrze, które po wydechu

pozostawało jeszcze w płucach cofa się pod ciśnieniem atmosferycznym w głąb. Mieszanie się tych dwóch rodzajów powietrza, przenikanie powietrza świeżego do głębszych warstw jest możliwe głównie tylko wskutek dyfuzji, atoli dyfuzja z powodu małego światła najdrobniejszych rozgałęzień oskrzeli, odbywa się w nich tylko w nieznacznym stopniu. Ażeby więc oznaczyć efektywną wentylację płuc, musimy znać tę ilość powietrza, która się dostaje do samych pęcherzyków. Gréhant zapomocą metody już wyżej podanej obliczył, że przy spokojnem oddychaniu, około $\frac{1}{3}$ części powietrza, więc około 150 cm³ pozostaje w drogach oddechowych, a reszta $\frac{2}{3}$ części (około 350 cm³) dostaje się do samych pęcherzyków płucnych. Ponieważ powietrze wprowadzone podczas wdechu do dróg oddechowych pierwsze opuszcza organizm przy następnym wydechu i nie bierze wcale udziału we wymianie gazów, przeto powietrze to, pozostające w drogach oddechowych, nazwano powietrzem szkodliwem.

Pneumatometria i pneumatografia. Wspomniano już wyżej, że można oznaczyć siłę, z jaką mięśnie oddechowe wywołują zmiany objętości klatki piersiowej. Używa się do tego celu zwykłego manometru rtęciowego (metoda Dondersa), którego jedno ramię łączy się zapomocą rurki szklanej widłowej z oboma nozdrzami. Przy zamkniętych ustach osoba badana wykonywa najgłębszy wdech, a następnie taki sam wydech. Przy wdechu, oczywiście, poziom rtęci w ramieniu, połączonem z nozdrzami, obniża się, podczas wydechu podnosi się. Doświadczenie powtarza się kilkakrotnie. Manometr, użyty w tym wypadku, nosi nazwę pneumatometru. Przy wdechu różnica poziomów może dojść do — 100 mm. poniżej ciśnienia atmosferycznego, przy wydechu zaś do + 150 mm. ponad ciśnienie atmosferyczne. Dane te maksymalne wahania ciśnienia w zamkniętych drogach oddechowych mierzą nam siłę ruchów oddechowych. Wielkość jej zależeć będzie od sprawności mięśni oddechowych, a będą one tem sprawniej pracowały, im lepiej będą rozwinięte.

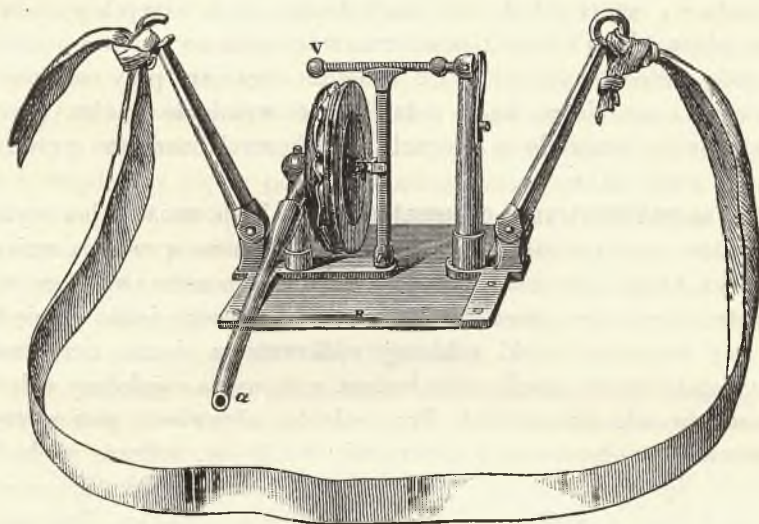
W rozwijaniu sprawności mięśni oddechowych, a co zatem idzie w powiększaniu ruchów i skuteczności oddychania, leży jedno z najważniejszych zadań wychowania fizycznego, względnie gimnastyki.

Bliższa obserwacja ruchów oddechowych odbywać się może bądź bezpośrednio, bądź przez zapisywanie tych ruchów zapomocą

różnych przyrządów, jak: pneumografy, torakografy lub frenografy.

Pneumografy zapisują ruchy całej klatki piersiowej lub zmiany poszczególnych jej przekrojów. Najczęściej używany jest pneumograf Marey'a (patrz ryc. 71).

Przyrząd ustawia się na mostku i przymocowuje do klatki piersiowej zapomocą taśmy, której końce przywiązuje się do dwóch rozchodzących się dźwigni przyrządu. Obie dźwignie obracają się naokoło osi, ustalonych na blaszce metalicznej sprężynowej *R*, nieco wygiętej, która właśnie przylega do mostka klatki piersiowej. Gdy klatka piersiowa się rozszerza, blaszka stalowa



Ryc. 71.

Pneumograf Marey'a.

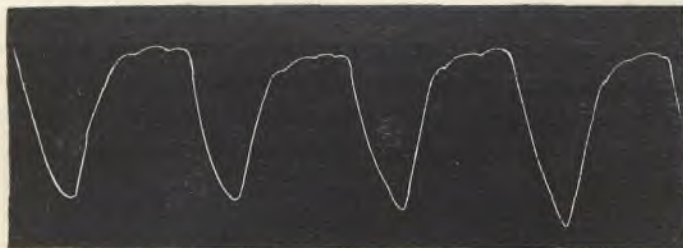
ugina się, a dźwignie wówczas się rozchodzą. Jedna z dźwigni zapomocą śrubki *V* napina bębnek Marey'a, połączony zapomocą rurki ze zwykłym poligrafem. Piórko poligrafu zapisuje na walcu okopconym krzywą oddychania, na której ramię wstępujące odpowiada wydechowi, zstępujące zaś wdechowi (patrz ryc. 72).

Jeśli chodzi o zapisywanie ruchów tylko niektórych miejsc klatki piersiowej, używa się między innymi torakografu P. Berta.

Do zapisywania ruchów przepony Rosenthal używał swego frenografu. Jest to dźwignia, której jeden koniec wbija się zwie-

rzęciu przez powłoki brzuszne między przeponą a górną powierzchnią wątroby, a drugi jej koniec połączony jest z piórkiem piszącym na walcu okopconym.

Nadto do tych samych celów służyć może także opisany już spiograf Gada (patrz krzywa ryc. 73).

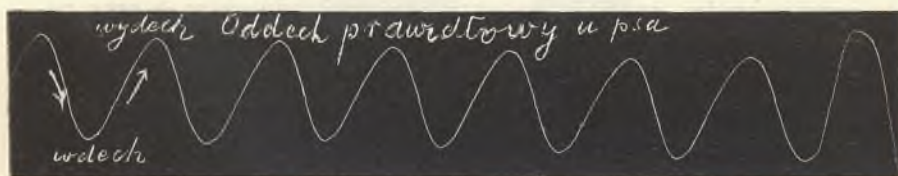


Ryc. 72.

Krzywa oddychania, otrzymana za pomocą pneumografu; w górze wydech, w dole wdech.

Zapisane ruchy klatki piersiowej za pomocą pneumografów dają nam krzywą, którą nazywamy krzywą oddychania.

Krzywe, otrzymane za pomocą pneumografu Marey'a, wskazują, że wdech trwa krócej, ramię krzywej jest strome, wydech zaś jest dłuższy, a cały jego przebieg jest powolniejszy. Vierordt



Ryc. 73.

Krzywa oddychania u psa, zapisana za pomocą spiografu Gada.

oznaczył, że stosunek trwania wdechu do wydechu wynosi 10:16. Przedłużanie się wydechu może być uważane za okres spoczynku klatki piersiowej, co też niektórzy uważają za pauzę między wydechem a następnym wdechem.

Częstość, z jaką ruchy oddechowe odbywają się w jednostce czasu, jest zależna od różnych warunków indywidualnych, jak n. p. od gatunku zwierzęcia, od wieku, od płci, od przyjęcia pokarmów, od spoczynku lub pracy mięśniowej, od snu i od ciepłoty ciała.

I tak co do gatunku zwierzęcia widzimy, że

koń	oddycha w minucie	10--12 razy
pies	" " "	15--25 "
kot	" " "	24 "
królik	" " "	55--60 "
szezur	" " "	150 "

Ilość oddechów wzrasta więc w przybliżeniu w odwrotnym stosunku do wagi ciała. Przyczyny, które warunkują ten stosunek będą omówione przy chemizmie oddychania.

U człowieka wiek ma bardzo znaczny wpływ na częstość oddechów; i tutaj mamy stosunek odwrotny między wagą ciała a ilością oddechów.

Wiek w latach:	Oddechy na minutę:
0	44
5	26
15--20	20
20--25	18
25--30	16
40	18

Średnia ilość wynosi u dorosłego mężczyzny 16 na minutę, u kobiety 18.

Po spożyciu pokarmów liczba oddechów wzrasta, przeciwnie podczas głodzenia maleje; podobnie maleje w czasie snu. Praca fizyczna bardzo znacznie zwiększa częstość oddechów a przy pewnym nadmiarze tej pracy może dojść do zaburzenia w oddychaniu, do t. zw. duszności.

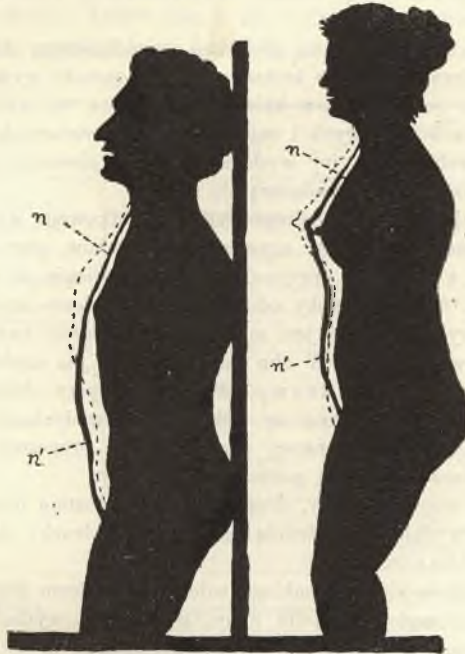
Wszystkie te zmiany w częstości oddechów są w związku z chemizmem ustroju.

Wysokość temperatury otoczenia także wybitnie wpływa na liczbę oddechów, zwłaszcza u zwierząt, które, tak jak n. p. pies, nie pocą się. Jeżeli u psa temperatura ciała dochodzi do 40°, liczba oddechów może wzrosnąć do 150—200 na minutę. Przyspieszenie tego rodzaju znane jako tzw. polypnoë termiczne jest czynnikiem, regulującym ciepłotę ciała.

Typy oddechowe. Oprócz różnic w rytmie oddychania, istnieją także i różnice w sposobie rozszerzania się klatki piersiowej u różnych zwierząt, a u człowieka zależnie od płci. U jednych zwiększa się pojemność klatki piersiowej przeważnie dzięki ruchom żeber, ten rodzaj oddychania nazywamy typem piersiowym lub oboj-

czykowym, u drugich głównie dzięki ruchom przepony i powłok brzusznych, dlatego też zwie się typem brzuszny, czyli przeponowym.

Dla przykładu podaję, że typ piersiowy przeważa u konia, u psa i t. d., typ brzuszny natomiast u królika. U człowieka typ brzuszny spotyka się przeważnie, jeżeli nie wyłącznie u mężczyzny, typ piersiowy wyłącznie u kobiety. U dzieci do 10-go roku życia



Ryc. 74.

Tory oddechowe u mężczyzny i u kobiety.

typ oddychania u obu płci jest brzuszny i dopiero w okresie rozwoju pęciowego, różnice coraz wyraźniej się uwydatniają.

Przyczyn tej różnicy w typie oddechowym u mężczyzny i u kobiet jest niewątpliwie w związku z czynnością rozrodczą kobiety. Oddychanie brzuszne byłoby zupełnie nieodpowiedniem, a nawet może i szkodliwem podczas ciąży u kobiet. Wskutek tego też w drodze przystosowania ustrój kobiecy nabył typu oddychania piersiowego. Że nie inne przyczyny wchodzą tu w grę jak n. p.

ściskanie klatki piersiowej zapomocą gorsetu, jak niektórzy przypuszczają, najlepszym dowodem jest to, że typ oddychania piersiowego przeważa u kobiet różnych plemion i ras, także u takich, które w ogóle nigdy nie używają gorsetu.

Zmodyfikowane ruchy oddechowe. W pewnych warunkach, ruchy oddechowe zmieniają mniej lub więcej swój prawidłowy przebieg. Zmiany takie występują pod wpływem niektórych stanów psychicznych, wskutek drażnienia nerwów czuciowych lub bezpośredniego podrażnienia dróg oddechowych.

Stany psychiczne są powodem: wzdychania, ziewania, śmiechu, płaczu, łkania.

Wzdychanie polega na głębokim, przedłużonym wdechu przeważnie przez nos, po którym następuje krótszy, również głęboki wydech.

Ziewanie jest aktem, w którym wykonywa się głęboki wdech przy rozwartych strunach głosowych i najczęściej przy otwartych ustach. Wdech przechodzi w powolny, spokojny wydech. Podczas ziewania szczeka dolna się obniża, a nadto często także podnoszą się barki.

Śmiech składa się z jednego tylko początkowego wdechu, po którym następuje cały szereg krótkich, urywanych wydechów, przy słabo zamkniętej szparze głosowej, a więzadła przyjmują takie ustawienie, że wydają charakterystyczny dźwięk. Te same ruchy oddechowe i ustawienie szpary mamy i przy płaczu, tylko wyraz twarzy jest inny, bo inne mięśnie twarzowe kureczą się w płaczu a inne w śmiechu. W obu razach, jednak już częściej w płaczu zostaje podrażniony i gruczoł łzowy, czemu towarzyszy obfitsze łzawienie.

Łkanie (szlochanie) różni się tylko tem od wzdychania, że wdechy po sobie następujące są szybsze, raczej spazmatyczne, przyczem szpara głosowa szybko się zamyka i cała krtani podnosi się do góry.

Jeżeli, jak wspominaliśmy, drogi oddechowe zostają obcem ciałem zadrażnione, to ustrój wydała je względnie usuwa przez odruchy oddechowe, jakimi są: kaszel i kichanie.

Kaszel składa się z głębokiego wdechu, z końcem którego szpara głosowa się zamyka i nagle następuje silny, gwałtowny wydech, wskutek czego ciśnienie powietrza zamkniętego w drogach oddechowych jest bardzo wysokie. Szpara głosowa gwałtownie się otwiera i wydaje charakterystyczny odgłos. Kaszel jest odruchem wywołanym drażnieniem zakończeń nerwu krtaniowego górnego, może on jednak zjawić się i po drażnieniu zakończeń nerwu błędnego w oskrzelach, a także wskutek podrażnienia zewnętrznego kanału słuchowego.

Kichanie jest ruchem analogicznym do kaszlu i różni się tylko tem, że powietrze z dróg oddechowych uchodzi nie tylko przez otwarte usta, ale także i drogą nosa. Podrażnione zostały przy kichaniu zakończenia nerwu trójdzielnego, u niektórych osobników samo drażnienie nerwu wzrokowego jaskrawem światłem wywołuje kichanie.

Czkawka polega na raptownym skurczu przepony, przyczem głośnia się zamyka. Prąd powietrza, wpadającego do dróg oddechowych, uderza o struny głosowe, które wydają charakterystyczny dźwięk. Czkawka powstaje jako odruch najczęściej z podrażnienia zakończeń nerwu błędnego.

Unerwienie oddychania.

Czynność oddychania wymaga zgodnego i równoczesnego współdziałania licznych i różnorodnych grup mięśniowych. Skurecz tych mięśni, biorących udział w oddychaniu, nie tylko zjawiać się musi w odpowiedniej chwili, by dopomódz dojściu do skutku całego skojarzonego ruchu, ale i sama siła skurczu musi być dostosowana do wymagań różnych faz oddechowych. Podniety, które wszystkie te mięśnie wprowadzają w stan czynny, dochodzą do nich drogami nerwowymi, które jak z niniejszego zestawienia widać, należą do różnych anatomicznie oddzielonych pni nerwowych:

Mięsień	Nerw	Miejsce wyjścia z układu centralnego
M. mostkowo-gnykowy M. mostkowo-tarczowy	n. podjęzykowy	rdzeń przedłużony
M. pierścieniowo-nalewkowy M. tarczowo-nalewkowy	n. recurrens	
M. twarzy Mm. krtani	n. twarzowy	
Mm. brzuszne	splot lędźwiowy	od VII pierś. do II odcinka lędź. rdzenia
Przepona	n. przeponowy	III—IV odcinek szyjny rdzenia
Mm. międzyżebrowe	nn. międzyżebrowe	I—XII odcinek piersiowy rdzenia
Mm. pochyłe M. czworoboczny	splot szyjny i ramienny	I—IV odcinek szyjny i V szyjny do I odcinka piersiowego rdzenia

Zgodność z jaką wszystkie mięśnie oddechowe wchodzą w stan czynny, zmusza nas do przypuszczenia, że w samym układzie nerwowym ośrodkowym wszystkie te drogi nerwowe są między sobą połączone.

Oddychanie nie jest, jakby się zdawało, czynnością dowolną, lecz funkcją samoistnie się kierującą i regulującą, tak jak inne czynności w ustroju n. p. akcja serca, trawienie i t. p. W samej rzeczy możemy dowolnie tylko bieg oddychania modyfikować, zwal-



niać lub przyspieszać, głębiej lub powierzchowniej oddychać, ale w końcu są to zmiany krótkotrwałe, a po ich przejściu czynność oddychania wraca znowu do swego prawidłowego biegu. Z tego wynika, że w układzie nerwowym centralnym musi być pewien ośrodek, który nie tylko łączy wszystkie drogi nerwowe, zaopatrujące mięśnie oddechowe, ale i kieruje samoistnie ruchami oddechowymi. Droga doświadczalną odkryto, że ośrodek oddechowy mieści się w rdzeniu przedłużonym.

Najpierw Legallois (1812), a później Flourens (1842) stwierdzili istnienie tego ośrodka w rdzeniu przedłużonym w dolnej części szarej substancji czwartej komory (*calamus scriptorius*). Flourens ograniczył miejsce tego ośrodka oddechowego na tak małej przestrzeni, że, jak dowodził, wystarczy tylko nakłucie tego miejsca, ażeby zwierzę natychmiast zabić. Z tego też powodu Flourens nazwał miejsce to w rdzeniu przedłużonym węzłem życia (*noeud vital*).

Doświadczenia, które naprowadziły właśnie na umiejscowienie ośrodka oddechowego w rdzeniu przedłużonym, przeprowadzono w ten sposób, że wykluczano stopniowo od rdzenia przedłużonego wpływy wszystkich powyżej i poniżej stojących części układu nerwowego ośrodkowego przez odcinanie tych części od rdzenia przedłużonego. Po odcięciu wyższych części układu centralnego, ustają ruchy mięśni nozdrzy, lecz ruchy klatki piersiowej i przepony odbywają się dalej bez żadnych widocznych zaburzeń. Po przecięciu rdzenia pacierzowego poniżej przedłużonego, na wysokości siódmego nerwu szyjnego, ustają ruchy klatki piersiowej, lecz przepona porusza się dalej. Przecięcie znowu na wysokości 3-go nerwu szyjnego powoduje, że i ruchy przepony ustają; odcięcie zaś całego rdzenia pacierzowego od przedłużonego nie usuwa ruchów oddechowych nozdrzy i krtani, które przez jakiś czas z powodu duszności stają się nawet wybitniejsze. Przecięcie natomiast miejsca na dnie 4-tej komory nieco wyżej *calamus scriptorius* powoduje nagle ustanie oddychania. To miejsce jednak, odpowiadające ośrodkom oddechowym, nie jest tak ściśle ograniczone, jak twierdził Flourens, bo jak się okazało, ażeby otrzymać rzeczywiste ustanie wszystkich bez wyjątku ruchów oddechowych, a zatem także krtani i nozdrzy musi być substancja szara zniszczona na większej przestrzeni. Później też okazało się jeszcze, że ośrodek oddechowy jest parzysty, symetrycznie ułożony po obu stronach *calamus scriptorius* nieco po-

wyżej jąder nerwów błędnych i na wewnątrz od korzonków nerwu podjęzykowego. Przez długi czas umiejscawiano te ośrodki wyłącznie w samym tylko rdzeniu przedłużonym. W przebiegu jednak badań późniejszych, Brown-Séguard i Langendorff znaleźli, że w niektórych razach, zwłaszcza u zwierząt nowonarodzonych, ruchy oddechowe nie ustają po przecięciu rdzenia przedłużonego, tylko trwają i nadal. W ślad za tem Rokitański, Wertheimer podali, że nawet u zwierząt dorosłych, jeśli tylko pobudliwość ośrodków nerwowych jest zwiększona, n. p. przez zatrucie strychniną, można obserwować i po przecięciu rdzenia przedłużonego automatyczne ruchy oddechowe. Wnioskowano więc z tego, że prócz kierującej roli, jaką ma ośrodek oddechowy w rdzeniu przedłużonym, istnieją poniżej w rdzeniu pacierzowym ośrodki rdzeniowe, które w wyjątkowych razach, objąć mogą funkcję pierwszych. Miałyby to być właściwe ośrodki ruchowe dla mięśni oddechowych, a ruchy same przychodziłyby w ten sposób do skutku, że bodziec, który bezpośrednio drażnił ośrodek oddechowy w rdzeniu przedłużonym — a jest nim, jak dalej zobaczymy — skład krwi, wysyła podniecie do ośrodków ruchowych w rdzeniu. I dopiero ztąd wychodzi podniecie dla samych skojarzonych ruchów mięśni.

Nie zawsze zdołamy jednak otrzymać wyniki zgodne z powyższem twierdzeniem, to też można na podstawie dotychczasowych badań tylko twierdzić, że ośrodek oddechowy w rdzeniu przedłużonym nie tylko kieruje przebiegiem ruchów oddechowych, lecz także jest ośrodkiem ruchowym dla zbiorowej akcyi mięśni oddechowych, a tylko wyjątkowo czynność tę ostatnią przenosi na ośrodki oddechowe drugiego rzędu, znajdujące się w rdzeniu pacierzowym.

Bez względu na to, czy podniecie, utrzymujące nieprzerwany tok oddychania, wychodzą z jednego ściśle określonego ośrodka oddechowego, czy też całego szeregu ośrodków, stan czynny tych ośrodków powstaje w nich samych, samoistnie. Czynność ośrodków oddechowych nie jest czynnością odruchową, albowiem trwa wówczas nawet, kiedy odcięto wszystkie nerwy dośrodkowe od rdzenia przedłużonego. A skoro czynność ośrodka oddechowego jest samoistną, automatyczną, należy się zastanowić nad przyczynami, które wywołują i utrzymują stan czynny ośrodków, kierujących oddychaniem.

Ponieważ cały proces oddychania służy do tego, aby w ustroju

utrzymywać ciągły przebieg procesów oksydacyjnych, przeto nasuwa się myśl, że powodem ciągłego stanu czynnego ośrodków oddechowych jest skład chemiczny krwi. Rzeczywiście też doświadczenie okazało, że zmiana tego składu, i to zarówno niedostateczna ilość tlenu, jakoteż i nadmiar bezwodnika węglowego jest bodźcem dla ośrodka oddechowego.

Każdy zabieg, którego następstwem jest nagromadzenie się bezwodnika węglowego we krwi, pobudza w większym stopniu czynność ośrodka; oddechy stają się głębsze i przyspieszone, w ruchach zaś oddechowych biorą wtedy udział także mięśnie oddechowe dodatkowe. Stan taki nazywamy dusznością (*dyspnoë*), w odróżnieniu od oddychania prawidłowego, noszącego nazwę *eupnoë*.

Jeżeli przeszkody, utrudniające oddychanie, trwają przez dłuższy czas, to prócz mięśni oddechowych dodatkowych biorą już udział w ruchach i inne mięśnie ustroju, tak że wówczas mogą zjawić się także drgawki tężcowe. Równocześnie występują zaburzenia w krążeniu krwi: akcja serca zostaje zahamowana, ciśnienie krwi w tętnicach wzrasta; żrenice się rozszerzają, a niekiedy występują gwałtowne ruchy przewodu pokarmowego. W końcu przychodzi porażenie różnych grup ośrodków nerwowych, oraz narządów obwodowych, co razem daje nam obraz stanu zwanego zamartwicą (*asphyxia*).

Jeżeli utrudnienie w oddychaniu ustaje, a człowiek, względnie zwierzę, zaczyna oddychać swobodnie czystym powietrzem, objawy duszności znikają, a oddychanie wraca do swego prawidłowego przebiegu. Wyliczone tutaj zaburzenia tak w oddychaniu, jak i w innych czynnościach ustroju, są dowodem, że tylko zmiana składu krwi mogła je wywołać. Że ta podnieta, leżąca w zmianie składu krwi, działa bezpośrednio na ośrodek oddechowy, a nie na drodze odruchu, n. p. przez drażnienie zakończeń nerwów czuciowych, dowodzi fakt, że ośrodek oddechowy reaguje bardzo żywo na zmianę składu krwi, przepływającej przez sam rdzeń przedłużony. I tak n. p. zaciśnięcie tętnic szyjnych wywołuje z powodu anemii rdzenia przedłużonego objawy duszności. Podobne zmiany w oddychaniu powoduje ogrzanie krwi, przepływającej przez *arteria carotis* (*polypnoë termica*).

Bezpośredni dowód, że skład krwi wpływa na stan czynny ośrodka oddechowego mamy w doświadczeniu Frédericq'a, przeprowadzonem na dwóch królikach sposobem t. zw. skrzyżowanego krwiobiegu mózgowego. Podwiązawszy obu króli-

kom obie tętnice kręgowe (*vertebrales*) i po jednej tętnicy szyjnej (*carotis*), Frédéricq połączył pozostałe tętnice szyjne w ten sposób na krzyż, że krew, wychodząca z serca jednego królika, szła do mózgu drugiego i odwrotnie z serca drugiego do mózgu pierwszego. Zaciskając lub podwiązując tchawicę pierwszego królika, zauważył, że duszność, względnie objawy uduszenia, zjawiały się tylko u drugiego, gdy pierwszy z podwiązaną tchawicą oddychał dalej całkiem swobodnie.

Objawy duszności występują nawet i wtedy, jeżeli w powietrzu, którem człowiek lub zwierzę oddycha, znajduje się dostateczna ilość tlenu, a część azotu zastąpioną została przez bezwodnik węglowy. Fakt ten dowodzi, że wzmożenie się ruchów oddechowych w czasie duszności polega na podrażnieniu ośrodka oddechowego przez nagromadzenie się bezwodnika węglowego we krwi. Bayliss i Starling na zasadzie wygłaszanej przez nich teorii o hormonach, rozciągając ją i do funkcyj oddechowej, uważają CO_2 jako rodzaj hormonu dla ośrodka oddechowego, który też jest względem niego niezmiernie wrażliwy.

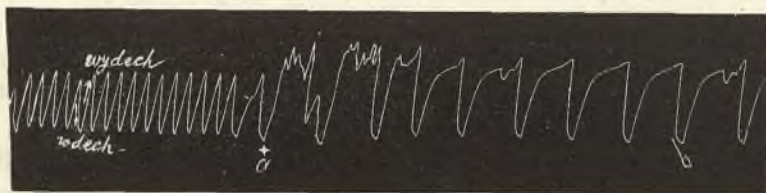
Nietylko jednak nadmiar CO_2 pobudza czynność ośrodka oddechowego. Jeśli w powietrzu, w którym zwierzę oddycha, zastąpiony zostanie tlen jakimś gazem obojętnym, jak H lub N , tak, że w powietrzu pęcherzyków płucnych znajdzie się minimalna tylko ilość wolnego tlenu, a wytwarzający się bezwodnik węglowy będzie należycie usuwany, to również oddychanie będzie energiczniejsze, a nawet wystąpią objawy duszności. Z tego więc wynika, że i sam brak tlenu jest już bodźcem dla ośrodka oddechowego.

Jeżeli przeciwnie ilość tlenu w powietrzu nadmiernie się zwiększa, ruchy oddechowe stają się coraz bardziej powierzchowne i rzadsze, a niekiedy czasowo mogą całkiem ustać. Stan ten nazywamy bezdechem (*apnoë*).

Bezdech taki wywołać można albo jeśli zwierzę zmusimy do oddychania w atmosferze czystego tlenu, albo jeśli mu się forsownie wtłacza czyste powietrze do płuc. Człowiek dowolnie może doprowadzić do takiego bezdechu, wykonywując kilkakrotnie przyspieszone i forsowne ruchy oddechowe. W obu razach i ilość bezwodnika węglowego zmniejsza się, a tem samem i sama pobudliwość ośrodka maleje.

Drogą doświadczalną pierwszy otrzymał stan takiego bezdechu Rosenthal. Okazało się jednak przytem, że przecięcie nerwów

błądnych utrudnia w wysokim stopniu zjawienie się tego bezdechu. Rosenthal otrzymywał bezdech przez wtłaczanie gwałtowne powietrza do płuc, w następstwie czego płuca nadmiernie się rozdymały, co działało jako podniecia na zakończenia nerwów błędnych. To podrażnienie więc miałooby działać hamująco na ośrodek i spowodować stan bezdechu. Badania późniejsze nad wyświetleniem znaczenia nerwów błędnych w oddychaniu, między innemi zwłaszcza Heringa i Brenera, naprowadziły tych autorów do teorii o autoregulacji ruchów oddechowych, przypisującej nerwom błędnym rolę pośrednika w ruchach oddechowych. Według tej teory bodźcem dla każdego wdechu jest podrażnienie zakończeń nerwu błędnego podczas zapadania się płuc w okresie wydechowym; bodźcem zaś dla wydechu jest podrażnienie zakończeń nerwu błędnego przez rozszerzanie się tkanki płucnej w okresie poprzedniego wdechu. Tę teorię autoregulacji ruchów oddechowych nie wszyscy badacze uważają za zgodną z faktami. Albowiem po przecięciu obu nerwów



Ryc. 75.

Krzywa oddychania u królika. Począwszy od *a* na prawo krzywa po przecięciu błędnych nerwów.

błądnych wprowadzie przebieg oddychania zmienia się, następuje zwolnienie i pogłębienie oddechów (patrz rycina 75), jednak oddychanie trwa w dalszym ciągu, a u niektórych zwierząt nie tylko przecinanie nerwów błędnych, ale nawet wszystkich dośrodkowych nerwów nie pociąga za sobą żadnych wybitnych zmian w oddychaniu. Oczywiście więc, że jeżeli ośrodek oddechowy może w takich razach dalej być czynnym, to nie można nerwom błędnym przypisać roli pierwszorzędnej w kierowaniu oddychaniem. Z drugiej jednak strony badania Lewandowskiego, Einthovena wykazały istnienie prądów czynnościowych w nerwach błędnych tak po zapadaniu się, jak i po rozszerzaniu się płuc, tak że trudno znowu nie przyznać i nerwom błędnym pewnego znaczenia w regulacji ruchów oddechowych.

Mimo, że skład krwi jest najgłówniejszą i pierwszą podniętą do utrzymania stanu czynnego ośrodków oddechowych, to jednak przebieg ruchów oddechowych ulegać może różnym wpływom przychodzącym drogą nerwów dośrodkowych, przede wszystkim zaś nerwów, których zakończenia znajdują się w płucach i drogach oddechowych. Już wyżej widzieliśmy, że po przerwaniu łączności między płucami a ośrodkami oddechowymi, czy to przecinając, czy lepiej znosząc przewodnictwo nerwów błędnych przez oziębienie,



Ryc. 76.

Krzywa oddychania u królika po przecięciu nerwów błędnych; *a* początek drażnienia nerwu błędnego.



Ryc. 77.

Krzywa oddychania u królika po przecięciu jednego nerwu błędnego. Przy *a* drażnienie końca dośrodkowego przeciętego nerwu.

ruchy oddechowe stają się wolniejsze i głębsze. Drażniąc koniec dośrodkowy nerwu błędnego, widzimy, że przy słabej podniecie prawie zawsze oddychanie przyspiesza się (p. ryc. 76 i 77), a przy silnych podniętach, przyspieszenie zwykle staje się jeszcze szybsze a w końcu zatrzymuje się na szczycie wdechu (p. ryc. 78), gdy zaś zwierzę było znużone lub przedtem uspione chloroformem, to na szczycie wydechu (p. ryc. 79).

Wszystkie przedstawione tu krzywe dowodzą zatem, że wpływ nerwów błędnych istnieje bez wątpienia i że on działa niejako oszczędzająco na roztoczenie się całego ruchu oddechowego. Porównując krzywą, otrzymaną po przecięciu nerwów z temi, w których oba nerwy są nienaruszone, widzimy, że w ostatnich oddechy wprawdzie są częstsze, ale zato płytsze; tem samem więc należy przyznać nerwom błędnym pewien wpływ na samą pracę mięśni oddechowych, tak, że wtedy, gdy nerwy błędne są czynne, ruchy oddechowe odbywają się przy mniejszym nakładzie pracy mięśni.

Wybitny wpływ na rytm oddychania mają także nerwy, zaopatrujące drogi oddechowe, jak n. p. nerw trójdzielny i nerw krtaniowy górny.



Ryc. 78.



Ryc. 79.

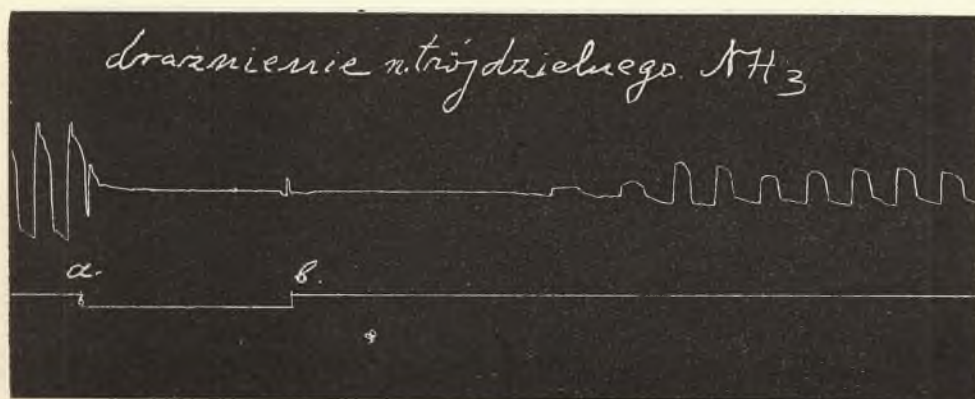
Krzywe oddychania u królika, otrzymane po połączeniu tchawicy zapomocą rurki widłowej z poligrafem Marey'a. + oznacza początek drażnienia nerwu błędnego. 0 koniec drażnienia. Na rycinie 78 zahamowanie wdechowe; na rycinie 79 zahamowanie wydechowe.

Podrażnienie n. p. zakończeń nerwu trójdzielnego w błonie śluzowej nosa wywołuje skurczowy, gwałtowny wydech, poczem oddychanie na pewien czas zostaje zahamowane. To zahamowanie uważać musimy jako celowe, ustrój bowiem broni się od wejścia do dróg oddechowych różnych gazów szkodliwych jak chlor, brom, amoniak, kwas siarkowy i t. d. Wszystkie te ciała drażnią błonę śluzową nosa i wywołują silny skurcz wydechowy, tak że nie mogą być wciągnięte do dróg oddechowych (patrz ryc. 80). Zakoń-

czenia nerwu trójdzielnego w błonie śluzowej nosa są nieraz tak czułe, że wystarcza lekkie wdmuchiwanie do nosa, by spowodować zahamowanie oddychania. Wraz z podrażnieniem nerwu trójdzielnego odruchowo zwężają się i oskrzela przez skurcz mięśni gładkich znajdujących się w ich ścianach.

Podczas połykania pokarmów oddychanie jest chwilowo przerwane i to z powodu podrażnienia zakończeń nerwu językowo-gardłowego. Drażnienie zatem końca dośrodkowego tego nerwu powoduje czasowe zahamowanie oddychania.

Przecięcie nerwu krtaniowego górnego (*n. laryngeus sup.*) zwykle nie pociąga, za sobą zmian wybitnych w rytmie oddychania natomiast drażnienie słabą podniecią końca dośrodkowego wywołuje



Ryc. 80.

Krzywa oddychania u królika. Zahamowanie oddychania na szczycie wydechu przez zadrażnienie zakończeń nerwu trójdzielnego w błonie śluzowej nosa parą amoniaku. *a* początek drażnienia; *b* koniec wdmuchiwania pary amoniaku.

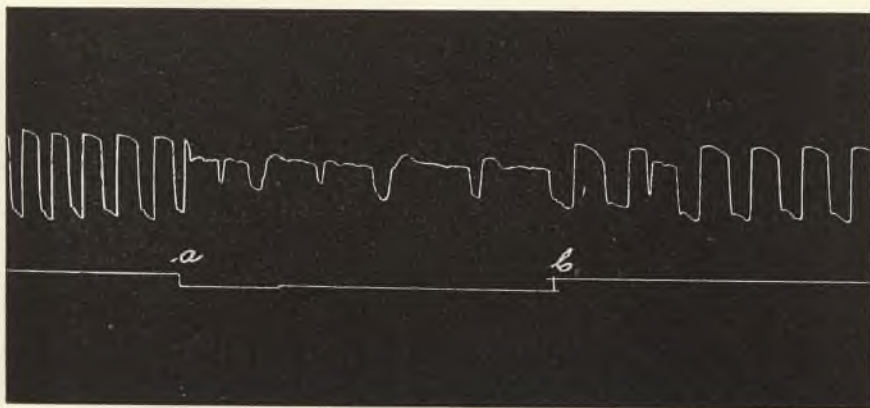
zwolnienie a nawet przy silniejszej podniecie zahamowanie oddychania przy równoczesnym skurczu wydechowym (p. ryc. 81).

Nerw krtaniowy górny jest przy kaszlu najbardziej czynną czuciową drogą nerwową.

Ośrodek oddechowy pozostaje w związku prawie z całą powierzchnią czuciową ustroju, czynność jego może zatem ulegać i z tej strony różnym wpływom. Podrażnienie więc różnych nerwów czuciowych dośrodkowych n. p. nerwu kulszowego, udowego i t. p. przynosi zawsze za sobą przyspieszenie ruchów oddechowych (patrz

ryc. 82). Podniety, które działają na nerwy trzewne zatrzymują oddychanie na szczycie wydechu. Ważną też rolę odgrywają nerwy czuciowe skóry. Wszelkie nagłe podrażnienie skóry, szczególnie termiczne, jak n. p. zanurzenie ciała do zimnej lub do gorącej wody wywołuje najpierw silny głęboki wdech, a następnie zawieszenie oddychania na szczycie wdechu.

Prócz wymienionych już wpływów nerwowych czynność ośrodka oddechowego jest zależną i od stanu najwyższych części układu nerwowego centralnego. Czasami u zdrowych osobników we śnie lub w czasie pobytu w górach (Mosso), jakoteż w chorobach mózgu, albo po zatruciach siarkowodorem, morfiną, oddychanie przybiera charakterystyczny przebieg, nie jest już ono tak jak zwykle



Ryc. 81.

Krzywa oddychania u królika po zadrażnieniu końca dośrodkowego nerwu krtańowego górnego; *a* początek drażnienia, *b* koniec drażnienia; wdech ramie spadające.

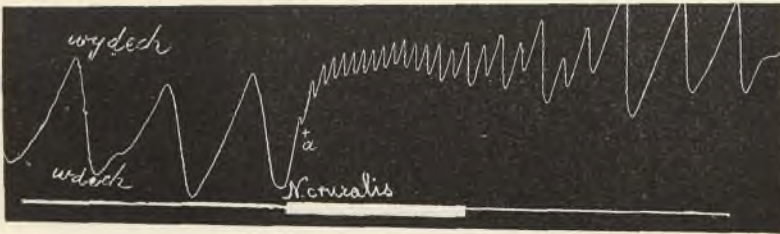
mniej lub więcej równomierne, lecz staje się wybitnie okresowe. Po szeregu głębszych oddechów następuje okres coraz wolniejszych i płytszych ruchów, a nawet na krótki przeciąg czasu ruchy te ustają całkowicie, by po chwili znowu się zjawić i coraz bardziej zbliżać się do pierwszych głębszych ruchów. Jest to t. zw. oddychanie typu *Cheyne-Stockesa*.

W końcu i sama praca mięśniowa ustroju wpłynąć może na oddychanie. Zawsze podczas pracy oddychanie jest głębsze i szybsze. Tłumaczyć to sobie możemy z jednej strony podwyższeniem

temperatury ustroju, której wpływ na oddychanie podaliśmy już wyżej, z drugiej tem, że skład krwi w czasie pracy ze względu na sprawy zachodzące w mięśniach musi ulegać zmianie i z tego powodu możemy przyjąć, że na ośrodek oddechowy w takich razach działają ciała, które się nagromadziły we krwi (Zuntz) jako skutek zwiększonej pracy mięśniowej, podobnie jak bezwodnik kwasu węglowego i inne.

Wpływ oddychania na krążenie.

Przy badaniu ciśnienia krwi w tętnicach, spostrzega się zawsze na otrzymanych krzywych, prócz wahań w ciśnieniu, pochodzących od akcyi serca, czyli t. zw. fal skurczowych także fale większe, współczesne z ruchami oddechowymi, które od tych ruchów są zależne, albowiem z ustaniem oddechów znikają zupełnie.



Ryc. 82.

Krzywa oddychania u psa; *a* początek drażnienia nerwu udowego.

Wiemy, że podczas wdechu, ciśnienie krwi w żyłach intratorakalnych staje się ujemne, to znaczy, że spada ono poniżej ciśnienia atmosferycznego. Na obnażonych żyłach n. p. szyjnych u zwierzęcia, lub jak to pierwszy spostrzegł u człowieka Valsalva (1760), widzi się, że podczas wydechu żyły te wypełniają się krwią, grubieją, w czasie wdechu natomiast zapadają się. Wynika stąd jasno, że ruchy klatki piersiowej, jej naprzemienne rozszerzanie się i zapadanie, oddziałują na ciśnienie krwi w naczyniach śródpiersiowych a tem samem i na przebieg ciśnienia w całym układzie krwionośnym ustroju.

Klatka piersiowa oprócz płuc mieści w sobie także część układu krwionośnego i to najważniejszą część jego, bo serce oraz duże żyły i tętnice. W klatce piersiowej panuje, jak już wiemy,

ciśnienie niższe, aniżeli we wszystkich innych częściach ustroju; rozumie się więc samo przez się, że i ta część narządu krwionośnego, która znajduje się w obrębie klatki piersiowej, również pozostaje pod wpływem wahań ciśnienia ujemnego. Wpływ ten jest nieprzerwany, uwydatnia się nawet i wówczas, kiedy klatka piersiowa jest w spoczynku, ponieważ i wtedy ciśnienie w niej panujące jest niższe, aniżeli atmosferyczne. W czasie ruchów oddechowych działanie to jest zmienne, bo ciśnienie ujemne zwiększa się podczas wdechu, a podczas wydechu zmniejsza się i nawet może być dodatnie.

Widzieliśmy, że podczas głębszego wdechu ponuje poza płucami w jamie opłucnowej ciśnienie ujemne największe, które obejmuje także i inne narządy, znajdujące się w klatce piersiowej a zatem także serce i naczynia krwionośne. Reszta narządu krwionośnego poza jamą opłucnową pozostaje nadal pod ciśnieniem całej atmosfery. Kiedy z końcem wydechu, klatka piersiowa chwilowo jest w spoczynku, ciśnienie ujemne wprawdzie maleje, nie znika jednak zupełnie i wynosi około 5 mm. Hg. Wpływ zatem klatki piersiowej na narząd krążenia jest stale ssący, ułatwia więc dopływ krwi z żył z poza klatki piersiowej do serca, zwłaszcza, że ściany żył są podatne i łatwiej ulegają wszelkim wahaniom ciśnienia w ich otoczeniu. Kiedy więc w czasie wdechu prawa połowa serca i żyły znajdują się pod ciśnieniem o wiele niższym, niż żyły szyjne, podobojczykowe i t. d., napływ krwi wzmacnia się do żył wśródpiersiowych, które tem samem lepiej się wypełniają; następstwem tego będzie, że i do serca prawego wejdzie większa ilość krwi, z kolei zaś stąd podczas każdego skurczu dopłynie więcej krwi do tętnicy płucnej. Ta zwiększona ilość krwi, przepływającej przez płuca, dostawszy się do lewej komory i do tętnicy głównej, jest powodem, że ciśnienie krwi w układzie tętniczym podczas wdechu się wzmacnia. Odwrotnie się dzieje w czasie wydechu. Ciśnienie wśródpiersiowe wzrasta, napływ krwi do serca prawego się zmniejsza, a co zatem idzie, przez płuca do lewego serca i aorty dochodzi także mniejsza ilość krwi niż poprzednio, ta okoliczność oczywiście musi pociągnąć za sobą obniżenie ciśnienia.

Zmiany ciśnienia wśródpiersiowego działają niewątpliwie także na tętnice. Skutek zaś tego działania musiałby być odwrotny. Gdyby ściany wszystkich naczyń krwionośnych były jednakowo podatne, to przeciwne wpływy ruchów oddechowych na żyły i tętn-

nice mogłyby się zupełnie równoważyć. Ponieważ jednak aorta posiada ściany o wiele mniej podatne, niż żyły, przeto wpływ zmian ciśnienia ujemnego w klatce piersiowej na żyły przeważa, w ostatecznym więc wyniku w czasie wdechu ciśnienie się podnosi, w czasie wydechu opada.

Na pierwszy rzut oka wydawać by się mogło, że wahania oddechowe na krzywej ciśnienia są zjawiskiem prostym, że podnoszenie się ciśnienia musi odpowiadać okresowi wdechowemu, opadanie zaś okresowi wydechowemu.

Jeżeli się jednak porównuje krzywe, otrzymane przez zapisywanie równoczesne u tego samego zwierzęcia, n. p. u królika (patrz ryc. 83), ruchów oddechowych i ciśnienia krwi w tętnicy, przypuścimy, szyjnej, to się widzi, że zmiany w ciśnieniu krwi stale się opóźniają w stosunku do wdechu i wydechu, tak że najwyższe ciśnienie przypada dopiero na pierwszą część okresu wydechu, najniższe zaś albo na sam początek wdechu, albo na koniec wydechu.

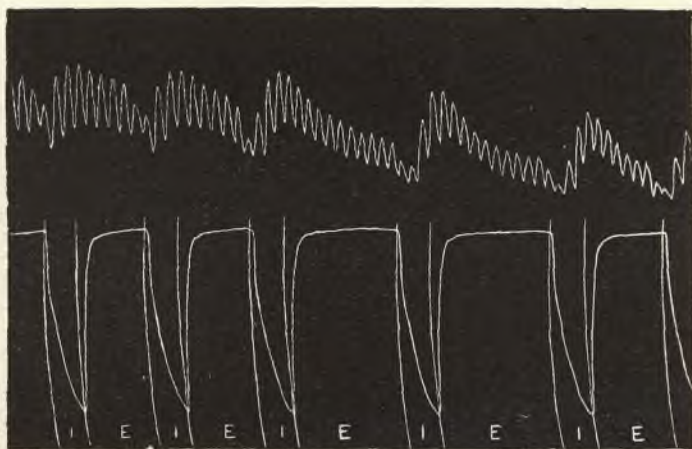
Tę niezgodność można już częściowo tem wytłómaczyć, że wpływ dodatni wdechu nie może ujawnić się w tej samej chwili, w której się oddech rozpoczął, lecz że musi przejść pewien czas nim wpływ ten wystąpi na jaw na całej przestrzeni od ujęć żylnych do łuku aorty, za to jednak przetrwać musi i wtedy, kiedy okres wdechu ustał a zaczął się okres wydechu.

Są jednak i inne jeszcze czynniki, które współdziałają w dojściu do skutku zmian oddechowych ciśnienia. Takim czynnikiem są niewątpliwie zmiany w świetle naczyń włoskowatych płuc. Wskutek rozciągania się pęcherzyków płuc podczas wdechu wydłużają się i zwężają naczynia włoskowate, które przechodzą między ich ścianami. Wskutek tego w naczyniach wzrasta opór, co zmniejsza ilość krwi przez nie przepływającej a w dalszem następstwie zmniejsza także napełnienie lewej połowy serca i przyczynia się do opadania ciśnienia w aoreie. Ten czynnik zatem przeciwdziała poprzecdnio wymienionemu, gdyż obniża ciśnienie podczas wdechu.

W końcu, czynnikiem dodatkowym, który razem z ruchami klatki piersiowej wpływa na krążenie są zmiany ciśnienia w jamie brzusznej: przez skurcz przepony i obniżanie się jej w czasie wdechu, ciśnienie krwi w żyłach brzusznych wzrasta i przyspiesza ruch krwi do serca a równocześnie utrudnia dopływ krwi z żył obwodowych.

Wydech natomiast, w pierwszej chwili również dopomaga ruchowi krwi w kierunku serca, później jednak, zwłaszcza przy wydechu wydłużonym i utrudnionym, może utrudnić z jednej strony dostanie się krwi do serca z żyły próżnej, a z drugiej strony z serca do tętnicy głównej.

Widzimy więc, że ostateczny wynik wpływu oddychania na ruch krwi będzie zależał od wzajemnego stosunku rozmaitych czynników i musimy dojść do wniosku, że oddychanie wpływa w dość wybitnym stopniu na krążenie i to przeważnie dodatnio, co najlepiej występuje przy zmianach postawy ciała, a szczególnie przy postawie pionowej, którą zachowuje człowiek. Tu działanie ssące

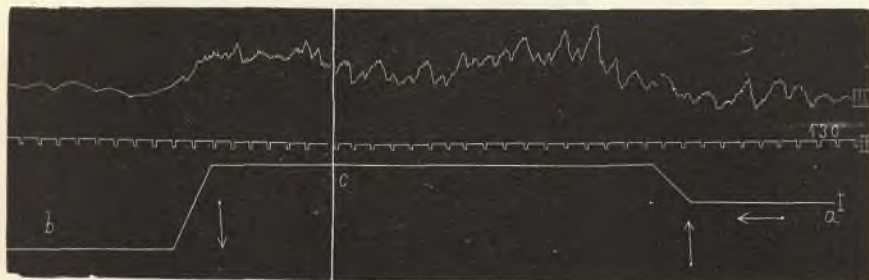


Ryc. 83.

Wahania ciśnienia krwi (królik) z powodu ruchów oddechowych. Górna krzywa ciśnienie krwi; dolna krzywa oddychania (wdech ramię spadające).

klatki piersiowej i tłoczące jamy brzusznej są głównymi czynnikami, które podnoszą krew z dolnych kończyn do serca. Bez tych dwóch wpływów sama *vis a tergo* serca byłaby niedostateczną, ciśnienie w żyłach kończyn dolnych, a wskutek tego i ich rozszerzenie, byłoby za wielkie, ilość krwi w nich również zanadto wielka, co by wszystko szkodliwie wpływało na krążenie. Dzięki zastawkom, w które opatrzone są żyły, dzięki ssącemu działaniu klatki piersiowej, oraz tłoczącemu jamy brzusznej, przy każdym wdechu krew z większą szybkością dąży z żył jamy brzusznej do serca.

To samo wzmaganie się ciśnienia krwi w naczyniach brzusznych powstrzymuje chwilowo przyływ krwi do nich z dolnych kończyn. Gdy z początkiem wydechu, ciśnienie w jamie brzusznej się zmniejsza, wtedy odpływ krwi z żył kończyn dolnych jest ułatwiony; to też skoro powstają warunki, wśród których albo zmiany ciśnienia w jamie brzusznej lub klatce piersiowej nie są dostateczne, albo są nieprawidłowe, to normalny ruch krwi w kończynach dolnych staje się niemożliwym i pociąga za sobą rozszerzenie się żył w tej części ustroju. Wpływ dodatni oddychania zwłaszcza w ustroju o postawie pionowej łatwo można wykazać zapomocą doświadczenia na zwierzęciu (p. krzywe). Dopóki zwierzę (kot) oddycha prawidłowo, podczas każdej zmiany postawy zwierzęcia ciśnienie w układzie krwionośnym ulega tylko bardzo małym wahaniom i wciąż się przystosowuje, tak że ciśnienie w naczyniach mózgu w każdej

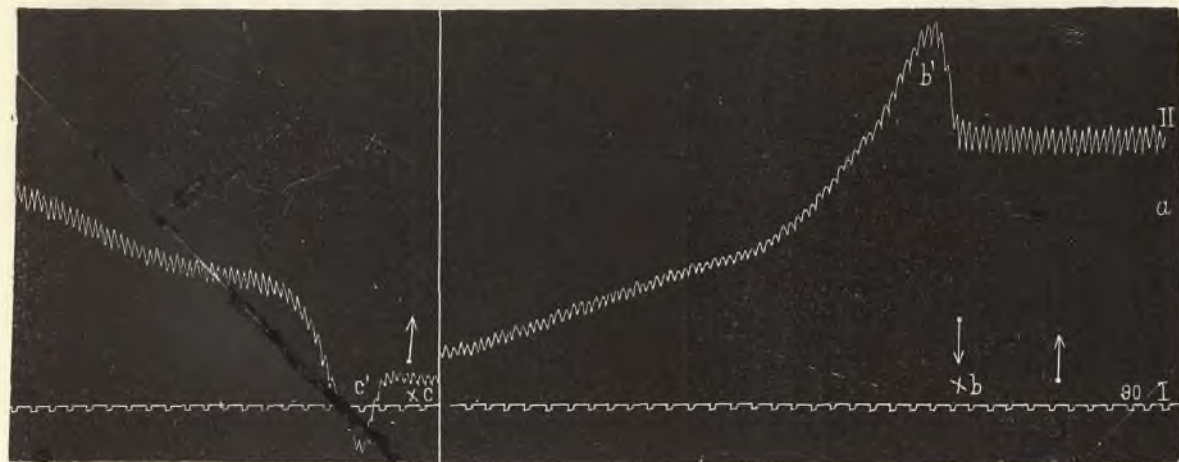


Ryc. 84.

Ciśnienie w tętnicy szyjnej u kota. *I* — oznacza zmiany w pozycji; *II* — sekundy na wysokości 130 mm. rtęci od zera; *III* — krzywa ciśnienia w tętnicy szyjnej. *a* poziomo, *c* przerwa w ciągu 1' podczas pozycji głowa w dół, *b* głowa do góry, $\rightarrow$ oznacza kierunek osi ciała, daszek $\wedge$ nogi (podług Cybulskiego).

postawie jest prawie to samo (patrz ryc. 84 krzywa ciśnienia w tętnicy szyjnej).

Zupełnie inaczej rzecz się przedstawia, jeżeli zwierzę zatrute zostało kurarą tak, że oddychanie zostało porażone, zwierzę wówczas utrzymane jest przy życiu zapomocą sztucznego oddychania. Tutaj już żadnego przystosowania ciśnienia krwi nie osiągniemy; ciśnienie w *carotis*, kiedy zwierzę ustawimy pionowo głową na dół, znacznie wzrośnie, a gdy ustawimy głowę do góry, znacznie się zmniejszy i może być podniesione tylko wtedy, gdy jamę brzuszną uciskamy miarowo, naśladując ruchy oddechowe. W tętnicy udo-



Ryc. 85.

I — sekundy na wysokości 90 mm. słupa rtęci. *II* — krzywa ciśnienia w tętnicy udowej po zatruciu kurarą; przecięcie nerwów błędnych; od *a* do *b* poziomo, od *b* do *c* pionowo, głową do góry, przy *b'* fala wskutek warunków czysto fizycznych, w *c* przerwa na 1'. Od *c* do końca pionowo głowa w dół, przy *c'* to samo co *b'*. X początek zmiany (podług Cybulskiego).

wej wówczas (patrz ryc. 85) w postawie pionowej głową do góry ciśnienie tylko w pierwszej chwili wzrasta, lecz potem zaraz opada i tak już pozostaje do końca, zaś przy postawie głową na dół ciśnienie od pierwszej chwili podnosi się ku górze i na pewnej wysokości pozostaje.

Podobnie jak na krążenie krwi, wpływa oddychanie w równym stopniu i na naczynia limfatyczne i na ruch limfy.



