

24

K. BIAŁASZEWICZ

RECHERCHES SUR LES ÉCHANGES GAZEUX
CHEZ L'HOMME PENDANT LE TRAVAIL.
I. MÉTHODE ET TECHNIQUE EXPÉRIMENTALE

BADANIA NAD WYMIANĄ GAZOWĄ
U CZŁOWIEKA W CZASIE PRACY.
I. METODYKA I TECHNIKA DOŚWIADCZEŃ

(LABORATOIRE DE PHYSIOLOGIE DE L'INSTITUT NENCKI, VARSOVIE)

PRZEGLĄD FIZJOLOGJI RUCHU
WARSZAWA
1933

REVUE DE PHYSIOLOGIE DU MOUVEMENT (CINÉPHYSIOLOGIE)

PARAISANT TOUS LES TROIS MOIS

CONSACRÉE AUX PROBLÈMES SCIENTIFIQUES DU SPORT, DE
L'ÉDUCATION PHYSIQUE ET DU TRAVAIL.

RÉDACTEURS:

Dr. G. SZULC, Agrégé à la Faculté de Médecine et Dr. W. MISSIURO.

Pour tout ce qui concerne l'abonnement et les manuscrits s'adresser
à la Rédaction: Varsovie 21. Institut Central d'Education Physique,
Laboratoire de Physiologie.

Chaque numéro contient, outre les mémoires originaux, publiés en
polonais ou dans une des langues adoptées par les congrès internationaux,
des analyses de travaux polonais et étrangers.

Les mémoires originaux et communications doivent être remis sous
forme de dactylographies, sans surcharges manuscrites. Les clichés ne
doivent pas dépasser 10 cm × 16 cm. Le nombre des figures, dessins et
graphiques doit être limité au strict nécessaire et il est désirable qu'ils
soient accompagnés d'une légende explicative.

Les auteurs ont droit à 30 tirages à part gratuits.

Abonnement annuel \$ 3.



REGULAMIN OGŁASZANIA PRAC W „PRZEGLĄDZIE FIZJOLOGJI RUCHU”.

1. Prace do druku należy nadsyłać pod adresem: Redakcja „Prze-
glądu Fizjologii Ruchu” — Centralny Instytut Wychowania Fizycznego,
Zakład Fizjologii. Warszawa 21.

2. Prace powinny być pisane na maszynie, na jednej stronie arkusza
(recto), z pozostawieniem marginesu oraz miejsca wolnego ponad tytułem
dla uwag redakcji. Do prac oryginalnych winno być dołączone streszczenie
w języku francuskim, angielskim lub niemieckim. Streszczenie może za-
wierać najwyżej 50 do 100 wierszy druku.

3. Dla uniknięcia znacznych zmian w korekcie prace powinny być
starannie wykończone pod względem stylu i pisowni. Znaczniejsze zmiany
w korekcie mogą być czynione jedynie na koszt autora.

4. Klisze do prac mogą być tylko w wyjątkowych przypadkach wy-
konywane na koszt wydawnictwa, z reguły zaś koszt wykonania klisz
opłaca autor.

5. Autorzy prac oryginalnych otrzymują 30 odbitek swej pracy
bezpłatnie. Autor może na specjalne zamówienie otrzymać większą ilość
odbitek, za które opłaca całkowity koszt druku odbitki i papieru.

6. Redakcja zastrzega sobie prawo przeznaczenia na sprzedaż pew-
nej liczby odbitek.

(Laboratoire de Physiologie de l'Institut Nencki, Varsovie).

K. Białaszewicz

RECHERCHES SUR LES ÉCHANGES GAZEUX CHEZ L'HOMME PENDANT LE TRAVAIL. I. MÉTHODE ET TECHNIQUE EXPÉRIMENTALE.

*Badania nad wymianą gazową u człowieka w czasie pracy.
I. Metodyka i technika doświadczeń.*

Reçu le 27.VII.1933.

I. Introduction. — II. Echelle ergométrique. — III. Etude des échanges gazeux: 1. Masque, soupapes et dispositif servant à enregistrer le rythme respiratoire. 2. La boîte à ventilateur. 3. Inscription automatique du volume d'air expiré. 4. Prise d'échantillons d'air pour analyse. 5. Appareil pour l'analyse d'air. — IV. Marche des expériences. — V. Explication des planches.

I. Introduction.

Il s'agissait surtout dans cette série des recherches d'adapter l'appareillage ergométrique et respiratoire à l'étude de certains problèmes spéciaux de la physiologie du travail. L'appareillage utilisé habituellement est parfaitement suffisant pour l'étude des échanges gazeux chez l'homme pendant le travail continu et pendant le repos. Nous avons tenu cependant à étudier également les échanges gazeux et le travail dans les périodes de passage du travail au repos et du repos au travail et aussi dans les moments de changement d'intensité du travail.

Nous avons choisi le genre du travail qui ne nécessite pas un entraînement spécial, et permet de mesurer facilement la quantité du travail fourni et de maintenir son rythme constant,

à savoir la montée d'une échelle roulante. Pour rendre possibles les expériences de longue durée nous avons adopté pour l'appareillage respiratoire le principe du circuit ouvert. Comme il s'agissait dans ces expériences de recueillir un grand nombre de données dans les petits intervalles de temps, nous avons eu recours à l'enregistrement graphique automatique de la plupart de ces données.

L'emploi de l'ergomètre constitué par une échelle sans fin mue par un moteur électrique a permis d'une part de maintenir la constance parfaite de l'intensité du travail et de l'autre a laissé la possibilité de faire varier cette intensité dans d'assez larges limites.

En ce qui concerne le choix de l'appareillage respiratoire nous nous sommes attachés surtout à obtenir avec précision le volume de l'air expiré et la vitesse de son écoulement. Nous nous sommes servi dans ce but d'une série d'appareils et des dispositifs destinés à séparer l'air expiré de l'air inspiré, à rendre étanches les voies efférentes, à diminuer le plus possible la résistance opposée au courant d'air, au contrôle thermo-barométrique précis et finalement à l'inscription exacte de l'écoulement de l'air expiré.

La prise d'échantillons d'air expiré garantissait sa composition moyenne réelle et l'analyse des gaz était faite par méthodes suffisamment précises.

Tout ceci était effectué grâce à une série de dispositifs supplémentaires, dont nous donnons ci-dessous la description détaillée et le mode de fonctionnement. Les plus importants parmi eux sont: l'ergomètre — échelle sans fin, le masque et les soupapes, la boîte à ventilation, l'enregistrement graphique de la ventilation et l'appareil pour analyse de l'air expiré.

II. L'ergomètre.

L'ergomètre (fig. 1 et 10) que nous avons utilisé au cours de ces expériences était constitué par une échelle sans fin, qui pouvait se déplacer dans les deux sens à une vitesse réglable. On pouvait exécuter le travail soit en montant les marches lorsque l'échelle baissait, soit en descendant lorsqu'elle montait.

L'échelle de six mètres de pourtour se composait (fig. 1) de deux fortes chaînes (D), reliées l'une à l'autre à des inter-

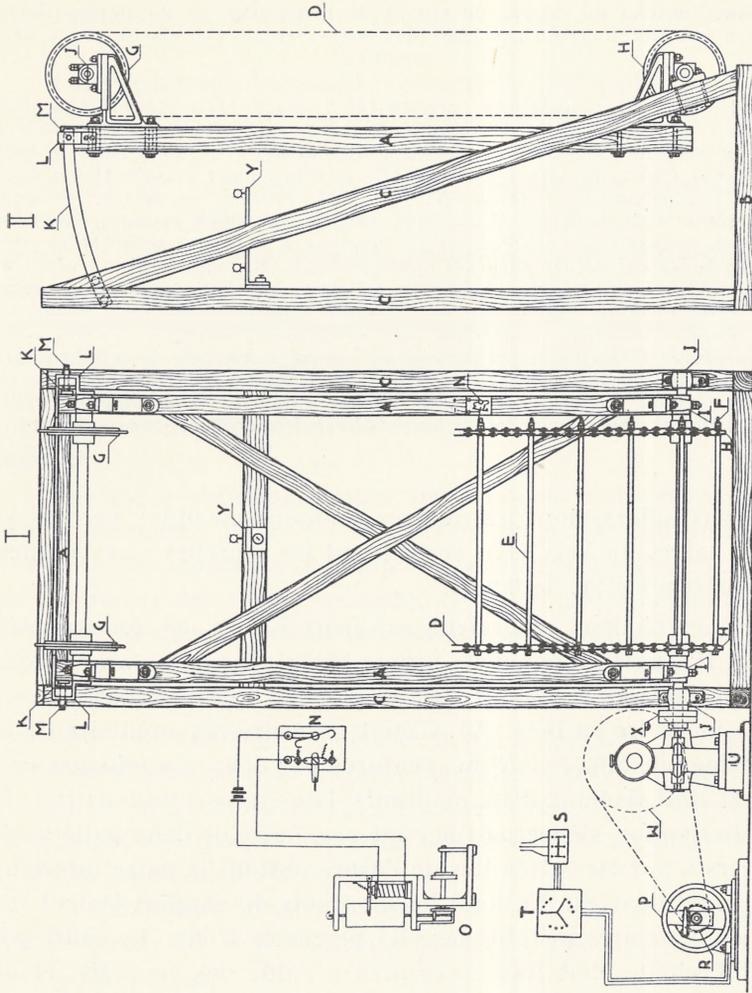


Fig. 1. Ergomètre vu de face (I) et de profil (II). Le bâti de l'ergomètre se composant du support (B), placé sur le plancher, de deux montants latéraux (C) et du cadre (A) portant l'échelle. Les chaînes (D), les marches (E), les cames (F) aux extrémités des marches de l'échelle; la paire supérieure (G) et inférieure (H) des roues dentées, leurs arbres tournant dans les paliers (I) suspendus au cadre du bâti sur quatre chaises consoles. Les paliers (J) fixés aux montants du support, traversés par les extrémités de l'arbre portant la paire inférieure des roues dentées. L'arc (K), l'écrou (L) et la vis (M) qui servent à fixer la partie supérieure du cadre. Le dispositif servant à enregistrer le mouvement de l'échelle: une clé (N), pouvant fonctionner dans les deux sens et fermant le courant dans le circuit du signal (O) et les cames (F) aux extrémités des marches. Le moteur électrique triphasé (P), la clé (S) pour le courant de ville arrivant au moteur, la boîte des résistances (T) et poulie motrice (R). Le système d'engrenages hélicoïdaux (U) et la poulie de transmission (W).

La jonction (X) de l'arbre de renvoi de l'engrenage et de l'arbre de réception portant la paire inférieure des roues dentées. Le viseur (Y) à deux ampoules.

Rys. 1. Ergomierz, widziany z przodu (I) i z boku (II). Statyw drewniany ergomierza, składający się z ramy (A), do której jest przymocowana drabina, z podstawy (B), opierającej się o podłogę, i — dwu ramion bocznych (C). Łańcuchy (D) i szczeble (E) drabiny wraz z nakrętkami bocznymi (F); górna (G) i dolna (H) para kół zębatach na osiach, obracających się w łożyskach (I) kroksztyln, przytwierdzonych śrubami do ramy statywu. Łożyska (J) umocowane na ramionach statywu, przez które przechodzą końce osi dolnej pary kół zębatach. Łuk (K), mufa (L) i śruba (M), które służą do umocowania górnego końca ramy. Urządzenie do notowania ruchu drabiny, składające się z klucza dwustronnego (N), zamykającego prąd w obwodzie znacznika (O), i nakrętek bocznych (F) na szczeblach. Motor elektryczny trójfazowy (P) wraz z kluczem do prądu doprowadzającego (S), opornicą (T) i kołem popędowym (R). Przekładnia ślimakowa (U) i jej koło pasowe (W). Połączenie (X) osi redukcyjnej przekładni ślimakowej z osią dolnej pary kół zębatach. Wizer dwulampowy (Y).

valles réguliers (tout les quatres chaînons ou plus) par des solides barres en bois (E), constituant les marches. La longueur des marches était de 0.9 m.

Les chaînes reposaient sur deux paires de roues dentées (G et H), portées par deux arbres horizontaux. Ces arbres tournaient dans les paliers (I) suspendus sur quatres chaises consoles à un cadre en bois (A). C'était un cadre rectangulaire de dimensions de 2.62×1.18 m., renforcé par deux assemblages croisés. Il était fixé aux deux montants d'un support en bois (C). En bas la fixation s'effectuait par intermédiaire de deux paliers (J), traversés par les extrémités de l'arbre portant la paire inférieure des roues dentées. En haut les montants du support étaient munis de deux arcs métalliques (K) percés de trous. Le cadre portant l'échelle était fixé à ces arcs à l'aide des vis (M) et des écrous (L). Ce dispositif permettait d'incliner l'échelle jusqu'à 75° degrés.

L'échelle était actionnée par un moteur électrique triphasé (P). Il imprimait le mouvement de rotation, par intermédiaire d'un système de changement des vitesses à engrenages hélicoïdaux (U), à l'arbre portant la paire inférieure des roues dentées.

Le moteur électrique (P) de puissance de 2 HP faisait 1000 tours par minute. On pouvait, grâce à une boîte de résistance (T) réduire cette vitesse de rotation jusqu'à 500 tours par minute. L'engrenage hélicoïdal (U) réduisait la vitesse dans le rapport 1:50. L'arbre de renvoi de ce système portait trois poulies (W)

de transmission, réduisant à leur tour la vitesse dans les rapports 1:1, 1:2, et 1:5.

On réglait habituellement la vitesse du déplacement de l'échelle, en intercalant une résistance variable dans le circuit du courant de ville (T) et en choisissant une poulie convenable sur l'arbre de l'engrenage hélicoïdal. On obtenait ainsi les vitesses pouvant varier de 2 à 20 mètres par minute. Dans les expériences ou l'on tenait à avoir les changements de vitesse importants, brusques et fréquents, on les réalisait en ajoutant ou en supprimant un frottement supplémentaire sur la poulie de transmission. Le poids du sujet en expérience modifiait la vitesse du déplacement de l'échelle. On compensait la modification ainsi obtenue par l'augmentation d'intensité du courant arrivant au moteur.

La vitesse du déplacement de l'échelle était enregistrée automatiquement: une clé (N) pouvant fermer le courant était fixée à un des montants du support; les extrémités des marches étaient munies des cames saillantes (F). Ces cames actionnaient la clé: chaque fois qu'une marche passait au niveau de la clé, elle fermait le courant d'un circuit d'accumulateur. Un signal de D e s p r e z (O) intercalé dans ce circuit notait la fermeture sur un cylindre enregistreur (comparez la fig. 9, la quatrième ligne). La clé était construite de façon à permettre l'enregistrement du mouvement de l'échelle dans les deux sens (fig. 1, N). On calculait le chemin parcouru d'après la distance entre les marches et le nombre de fermetures enregistrées.

On changeait le sens du mouvement de l'échelle à l'aide d'un inverseur (S) intercalé dans le circuit amenant le courant de ville au moteur.

On calculait le travail exécuté en montant l'échelle d'après le produit du poids total et de la montée verticale. On comprend dans „le poids total” celui du sujet en expérience et ceux du masque, des tuyaux de caoutchouc, du sac et de la charge supplémentaire portée dans le sac.

L'ascension dans la direction rigoureusement verticale est très fatigante et peu économique, c'est pourquoi dans la plupart d'expériences l'échelle était légèrement inclinée ce qui diminuait considérablement l'effort des bras. Dans les expériences effectuées dans ces conditions, on calculait l'ascension réelle d'après le chemin parcouru, enregistré sur le cylindre et l'angle d'incli-

naison de l'échelle. Le sujet se trouvait à la même hauteur au début et à la fin de l'expérience. On vérifiait cette hauteur à l'aide d'un viseur (Y) à deux ampoules, placé devant l'échelle.

L'angle d'inclinaison de l'échelle était choisi de façon à ce que la valeur de l'équivalent métabolique de la marche horizontale se trouvât dans les limites de l'erreur de détermination d'oxygène consommé au cours de la montée verticale. Dans la plupart des expériences l'inclinaison de l'échelle était de 12° degrés par rapport à la verticale.

III. Étude des échanges gazeux.

1. Masque, soupapes et dispositif pour inscription du rythme respiratoire.

Nous avons choisi le masque de la maison Siebe et Gorman, de Londres, (Nr. 31 du catalogue BS), dans lequel nous avons remplacé les soupapes Douglas²⁾ par celles de Tissot¹⁾; les premières présentant à côté des avantages incontestables certains inconvénients, notamment une grande résistance non-réglable et perte assez fréquente d'étanchéité. Ce dernier défaut détermine le mélange d'air expiré avec l'air inspiré.

Quant au masque lui-même, son principal avantage par rapport à la pièce buccale de Speck³⁾ employée généralement dans les expériences de ce genre, consiste en ce que l'on peut respirer à volonté par la bouche ou par le nez. On évite ainsi l'écoulement de la salive et son accumulation dans les voies efférentes. On peut l'adapter au visage avec étanchéité parfaite. De plus, l'espace mort très petit (50 cc), réduit au minimum dans le modèle Nr. 32, constitue un des avantages essentiels de ce masque.

Comme nous l'avons déjà mentionné, les masques étaient munis des soupapes (fig. 2 B₁, B₂ et fig. 3 I, II) du type introduit dans les recherches respiratoires par Chauveau et plus tard par Tissot¹⁾. Nous y avons cependant modifié certains détails. Ces soupapes sont très légères (le poids de deux n'est que de 140 grammes). Il est facile de contrôler leur fonctionnement

¹⁾ Tissot J. 1904. Nouvelle méthode de mesure et d'interruption du débit et des mouvements respiratoires. Journ. de Physiol. et Pathol. gén. 6 (692).

²⁾ Douglas G. C. 1911. *Proceed. physiol. soc., Journ. of Physiol.* 42 (XVII). [Comparez: *Maly Jahresber.* 1912, 41 (435)].

³⁾ Speck C. 1892. *Physiologie des menschlichen Atmens nach eigenen Untersuchungen.* Leipzig.

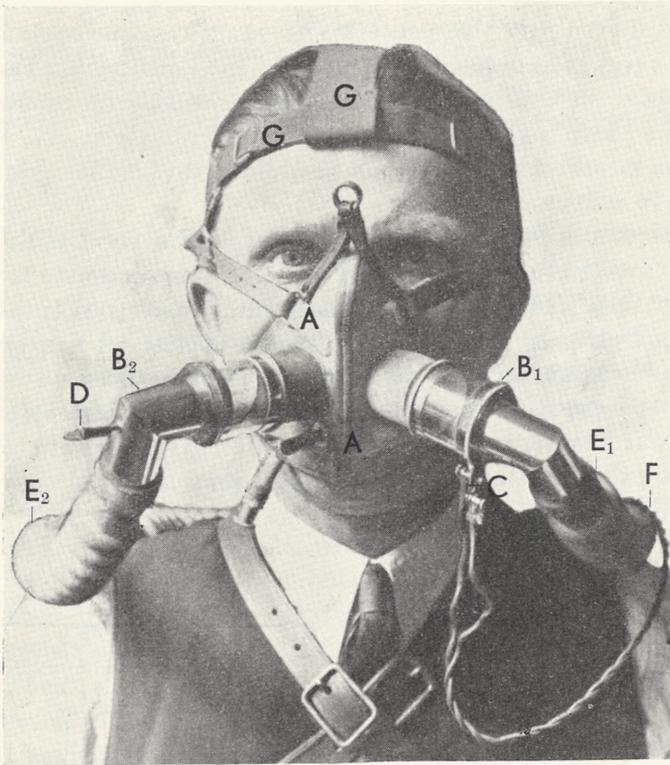


Fig. 2. Cette photo indique la façon dont on fixe le masque: A — le masque de caoutchouc, adapté au visage avec étanchéité parfaite; les soupapes: inspiratoire (B_1) et expiratoire (B_2); C — planchette munie des bornes, fixée à la soupape gauche, — elle fait partie du dispositif servant à enregistrer le rythme respiratoire; D — le tube capillaire qui sert à prélèvement d'échantillons d'air expiré; E_1 et E_2 — les tuyaux de caoutchouc qui mettent en rapport les soupapes et le sac au dos; F — conducteur qui relie les bornes de la planchette (C) au signal enregistrant le rythme respiratoire; G — bonnet en toile qui sert à la fixation du masque.

Rys. 2. Rysunek, wyjaśniający sposób przytwierdzenia maski: A — maska gumowa, szczelnie przylegająca do twarzy; wentyle: wdechowy (B_1) i wydechowy (B_2); C — przystawka w lewym wentylu, z zaciskami, do notowania rytmiki oddechowej; D — rurka kapilarna do pobierania próbek powietrza wydechowego; E_1 i E_2 — węże gumowe, łączące wentyle z kranami plecaka; F — przewód elektryczny, łączący nasadkę wentyla ze znacznikiem, zapisującym rytm oddechowy; G — czepek brezentowy do przytwierdzenia maski.

grâce à un manchon de verre (fig. 3 R) et d'enlever la vapeur d'eau qui s'y condense. La résistance que cette soupape oppose au courant d'air est très petite. Cette qualité est due surtout à la légère valve métallique (fig. 3 F) fermant l'orifice de l'appareil et doublée du côté interne d'une mince rondelle de caoutchouc (G). La valve maintenue sur deux charnières (H et H'), tombe par son propre poids sur le bord oblique de l'orifice, amenant l'air à la soupape.

Ce dispositif permet d'assurer l'occlusion étanche de l'orifice au moment où l'arrivée d'air cesse. Il ne fonctionne bien cependant que lorsque la tête du sujet ne s'écarte pas trop de la position verticale. Dès que l'on incline la tête ou l'on exécute les mouvements un peu vifs, la valve retombe avec un certain retard qui peut occasionner le mélange d'air inspiré et expiré.

Pour adapter nos soupapes aux différents usages et aux conditions expérimentales variées, nous avons introduit certains perfectionnements:

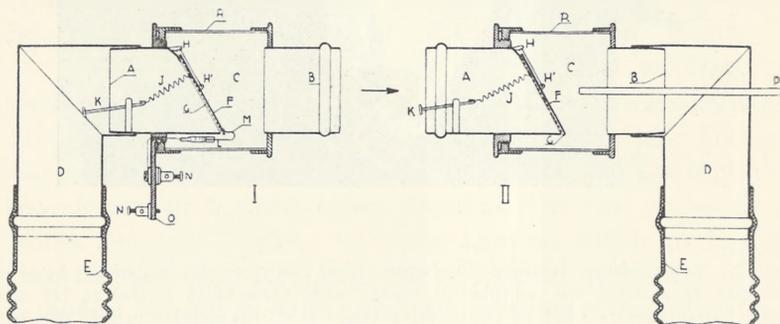


Fig. 3. Les soupapes du masque: inspiratoire (I) et expiratoire (II). Les orifices d'entrée (A) et de sortie (B) d'air. Le manteau de verre de la soupape (C). Les raccords (D) courbés à l'angle droit qui mettent en rapport les soupapes avec les tuyaux de caoutchouc (E), qui conduisent l'air. Les valves métalliques (F), doublées des rondelles de caoutchouc (G), mues sur deux charnières (H et H'), fermant les orifices des soupapes. Le ressort (J), attirant la valve et la tige (K) servant à régler sa tension. Le dispositif qui permet d'enregistrer le rythme respiratoire: une coupule (L), remplie de mercure; une tige en cuivre (M), fixée à la valve (F) et faisant contact lorsque cette dernière est fermée; deux bornes (N) sur une planchette (O) fixée à la soupape gauche. Un tube capillaire métallique (P) dans le raccord de la soupape droite, pour la prise d'échantillons d'air expiré.

Rys. 3. Wentyle do maski: wdechowy (I) i wydechowy (II). Wyloty wentyli: doprowadzający (A) i odprowadzający (B) powietrze. Bęben wentyla z płaszczem szklanym (C). Prostokątne nasadki metalowe (D) do łą-

czenia wentyli z węzami gumowemi (E), doprowadzającemi i odprowadzającemi powietrze z maski. Płytki metalowe (F) z podkładką gumową (G), poruszające się na dwu zawiasach (H i H') i zamykające wyloty doprowadzające. Sprężynka (J), przyciskająca płytkę, z precikiem (K), regulującym nacisk. Urządzenie do notowania rytmiki oddechowej, składające się z narpstka (L), napętnionego rtęcią, drucika kontaktowego (M), przytwierdzonego do płytki (F) oraz dwu zacisków do prądu (N) na przystawce (O) lewego wentyla. Metalowa rurka kapilarna w nasadce prawego wentyla (P) do pobierania próbek powietrza wydechowego.

1°. Un petit ressort (fig. 3 J), fixé par une de ses extrémités à la surface interne de la valve métallique (F), par l'autre à une tige (K), que l'on peut mouvoir à frottement dur dans un palier du support soudé au fond de l'orifice de la soupape. En choisissant une tension convenable du ressort, on pouvait obtenir une chute rapide de la valvule quelle que soit la position du masque.

2°. La soupape inspiratoire (I) était munie d'un dispositif placé dans sa partie inférieure et servant à enregistrer le rythme respiratoire. Ce dispositif était composé d'une petite coupule en fer (L), de 2 mm environ de diamètre intérieur, remplie de mercure et d'une tige en cuivre (M), soudée au bord de la valve de sorte qu'elle plongeait dans le mercure au moment où la valve fermait l'orifice. La coupule à mercure était en rapport avec une des bornes électriques (N), fixées sur la planchette isolante (O) placée à l'extérieur de la soupape. La tige en cuivre était en rapport avec l'autre borne (N). En reliant un accumulateur et un signal aux bornes (N), on pouvait ainsi enregistrer sur le cylindre chaque période d'inspiration et chaque période d'expiration. (Comparez les fig. 2 C et 9 c).

3°. Le raccord (fig. 3 D) de la soupape expiratoire était muni d'un tube capillaire (P), soudé dans sa paroi. Il servait à la prise d'échantillons d'air expiré dans les recherches sur la pression des gaz dans l'air alvéolaire. (Comparez aussi la fig. 2 D).

Après avoir ajusté les soupapes au masque, on adapte à leurs orifices deux raccords (D), courbés à l'angle droit et mettant en rapport les soupapes avec les tuyaux en caoutchouc souple. L'un de ces tuyaux amène l'air frais, l'autre conduit l'air expiré au gazomètre (fig. 2 E₁, E₂). Le sujet en expérience porte une planche en bois comme sac au dos (fig. 10 D). Cette planche est munie de deux robinets en aluminium à trois voies. Les tuyaux

venant des soupapes sont reliés aux orifices supérieurs de ces robinets, leurs orifices inférieurs sont en rapport avec des longs tuyaux de caoutchouc de 25 mm de diamètre. L'un d'eux communique avec le tuyaux amenant l'air frais de l'extérieur (fig. 10 E), l'autre, aboutit à la boîte à ventilateur et par son intermédiaire au gazomètre (fig. 10 F).

L'arrangement du masque et des conduites d'air que nous venons de décrire assure d'une part une séparation rigoureuse d'air inspiré et d'air expiré et laisse de l'autre une liberté de mouvements parfaite de l'individu en expérience.

2. La boîte à ventilateur.

Cet appareil (fig. 4) est intercalé dans la voie conduisant l'air expiré au gazomètre (v. fig. 10 C). Son rôle est double: 1° — il diminue l'inertie du gazomètre et la résistance des voies expiratoires; 2° — il homogénéise la composition d'air provenant des expirations successives.

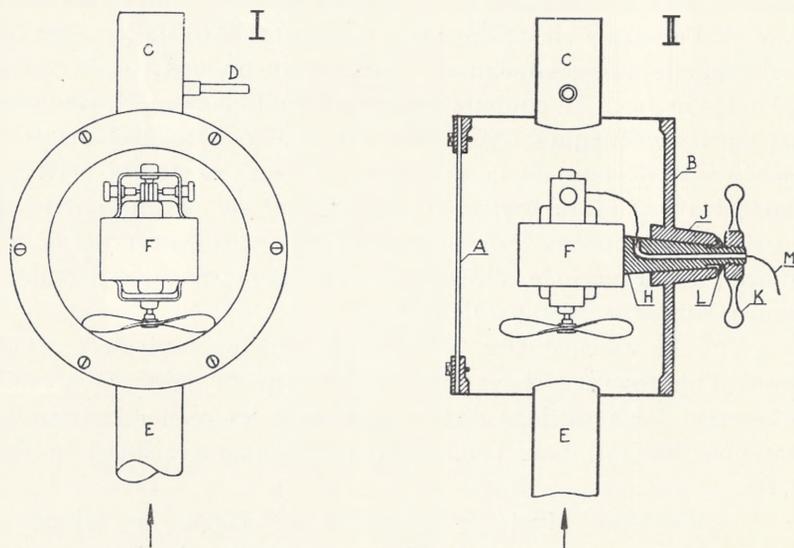


Fig. 4. La boîte à ventilateur vue de face (I) et de profil (II). La paroi antérieure (A) en verre et postérieure (B) en métal. Les tubulures de la boîte: supérieure (C) conduisant au compteur et munie du tube capillaire (D) par lequel on prélève les échantillons d'air expiré; l'inférieure (E), reliée par intermédiaire d'un tuyau de caoutchouc à la soupape expiratoire du masque. Le ventilateur électrique (F) fixé au bouchon métallique (H), ajusté à l'émeri et tournant dans le palier (J) de la paroi po-

stérieure de la boîte. La manivelle (K) qui sert à donner une direction convenable au moteur. Le ressort (L) qui augmente l'étanchéité du bouchon (H). Le conducteur (M) qui amène le courant au moteur.

Rys. 4. Skrzynka wentylatorowa, widziana z przodu (I) i z boku (II). Przednia szklana (A) i tylna metalowa (B) ściana skrzynki. Wyłoty skrzynki: górny (C), prowadzący do gazomierza, z rurką kapilarną (D), służącą do pobierania próbek powietrza wydechowego, i — dolny (E), połączony zapomocą węża gumowego z wentylem wydechowym maski. Wentylator elektryczny (F), przymocowany do szczelnie dodartego korka metalowego (H), obracającego się w łożysku (J) tylnej ściany skrzynki. Rączka (K) do zmiany kierunku ustawienia motoru. Sprężyna (L), uszczelniająca korek (H). Przewodnik (M), doprowadzający prąd do wentylatora.

L'appareil (Fig. 4) est composé essentiellement de deux parties: d'une boîte étanche et d'un ventilateur électrique logé a son intérieur. La boîte a la capacité d'un litre environ. Elle a la forme d'un cylindre bas (II), à l'axe horizontal. Deux tubulures (C et E) sont soudées l'une en face de l'autre en haut et en bas dans les parois de la boîte. La tubulure supérieure (C) est en rapport avec l'orifice d'entrée du gazomètre. Elle est munie d'un embouchement capillaire (D) pour la prise d'échantillons d'air expiré. La tubulure inférieure (E) est reliée au tuyau de caoutchouc venant de la soupape expiratoire du masque.

Une des parois latérales constituant les bases du cylindre est en verre (A), l'autre est métallique (B). Le moteur électrique du ventilateur (F) est logé au fond de la boîte. Il est fixé à la paroi postérieure de façon à pouvoir tourner autour de son axe transversal. Il peut être par conséquent orienté dans un angle quelconque par rapport à la ligne des tubulures. On peut le déplacer ainsi grâce au dispositif suivant. Le support du moteur est muni d'un bouchon métallique (H) à ressort (L), ajusté à l'émeri au palier (J) de la paroi postérieure de la boîte. On fait tourner le bouchon à l'aide d'une manivelle (K) placée à l'extérieur de la boîte.

Si l'on comprend aisément le rôle du ventilateur dans le brassage d'air, il faut ajouter quelques mots pour expliquer la diminution de résistance dans les voies expiratoires, produite par cet appareil.

En dirigeant convenablement les ailes du ventilateur par rapport à la direction du mouvement de l'air, on crée une pression positive sur le gazomètre. La suppression presque complète de résistance dans les voies efférentes est obtenue lorsqu'on

dispose l'axe longitudinal du moteur par rapport à la ligne des tubulures à un angle un peu supérieur à celui pour lequel le ventilateur commence à agir sur le gazomètre comme une pompe foulante. En orientant le ventilateur il faut en même temps régler avec soin la tension du ressort qui se trouve dans la soupape droite du masque. (Comparez les fig. 2 B₂ et 3 II).

Une pression excessive dans le masque fait augmenter le travail de ventilation et constitue un facteur nouveau, difficile à apprécier quantitativement, qui modifie les résultats des expériences respiratoires. La boîte à ventilateur réduit la pression des voies efférentes; elle constitue ainsi un perfectionnement de l'appareillage.

3. Inscription automatique du volume d'air expiré.

Le fonctionnement de l'appareil que nous avons appelé „l'enregistreur de ventilation” (fig. 5) repose sur le principe suivant. On enregistre sur une bande de papier enfumé le nombre de fermetures du courant produites par la rotation d'un disque à contacts. Ce disque se tourne de façon synchrone à l'axe du gazomètre. C'est un gazomètre du type E l s t e r, mis en mouvement par les ondes rythmées d'air expiré qui servait du moteur actionnant l'enregistreur. (Comp. la fig. 12).

Ce type du gazomètre dont s'étaient servi Z u n t z et G e p p e r t¹⁾ présente deux qualités particulièrement importantes pour nos recherches.

1°. Une installation thermobarométrique (fig. 10 G) qui permet de faire des corrections pour la température et la pression pendant la durée même de l'expérience.

2°. Grande précision des indications du gazomètre pour une large gamme des vitesses de l'air.

On peut se rendre compte de la précision de ces indications d'après les calibrages effectuée par méthode de K r o g h²⁾ et résumés dans le tableau ci-dessous. Les vitesses d'air variaient de 4 à 40 litres par minute.

¹⁾ Zuntz N. u. Geppert. Comp. Geppert J. 1887. Die Einwirkung des Alkohols auf den Gaswechsel des Menschen. Arch. f. exper. Path., 22 (367); Magnus-Levy A. 1893. Über die Grösse des respiratorischen Gaswechsels unter den Einfluss der Nahrungsaufnahme. Arch. f. d. ges. Physiol. 6 (273).

²⁾ Krogh A. 1920. The calibration, accuracy and use of gas meter. Bioch Journ. 14 (287).

Après le calibrage du gazomètre, nous avons supprimé le système d'engrenages qui transmettait le mouvement de l'arbre sur le cadran indicateur. Nous l'avons fait pour éviter tout frottement superflu (v. la fig. 10 B et 12).

TABLEAU I.

Vitesse de passage d'oxygène par le gazomètre Elster. l/min	Nombre de détermi- nations	Volume réduit d'oxygène		Correction %
		Calculé d'après la masse du gaz sorti de la bombe l	Lu sur le cadran du gazomètre l	
2	1	18.12	17.55	+ 3.2
5	4	105.96	105.19	+ 0.8
10	4	261.66	259.96	+ 0.6
20	4	281.04	281.69	- 0.2
40	6	424.10	424.45	- 0.1
60	2	126.11	125.57	+ 0.4

Le disque à contacts (J) ferme le courant dans un circuit de signal (fig. 5). Il représente la partie essentielle de notre enregistreur. La roue motrice du gazomètre l'actionne par intermédiaire d'engrenage (E, F) et d'une courroie de transmission en caoutchouc (U). Les arbres de deux roues dentées (E et F) tournent dans les paliers à billes pour réduire le frottement le plus possible. Ils sont fixés sur un support commun, que l'on maintient à l'aide d'une vis (D) à la distance voulue de la roue motrice du gazomètre. On règle ainsi la tension de la courroie de caoutchouc.

Le disque à contacts (J) est constitué de façon suivante. C'est un rond en ébonite de 110 mm de diamètre et de 12 mm d'épaisseur. On a enfoncé pas trop loin de son bord 60 goupilles de laiton, équidistantes (M). On a ménagé ensuite une gorge circulaire sur la jante du disque. La gorge était assez profonde pour que les goupilles de laiton soient en partie tournées avec l'ébonite. Le fond de la gorge (K) s'est trouvé ainsi constitué par les segments alternativement conducteurs (en laiton) et isolants (en ébonite). Les bouts des goupilles qui font saillie au-dessus de la surface du disque, ont des incisions qui permettent de les unir par fil de cuivre les unes aux autres et aux goupilles du rond médian (N). Ce rond n'est pas isolé de la masse du support et est ainsi en relation avec une des bornes (S'), fixés sur le bras horizontal du support.

Les extrémités de deux leviers (O et T), libres autour de leurs axes et fixés l'un (O) sur le bras vertical et l'autre (T) sur le bras horizontal du support, glissent dans le fond de la gorge.

Le levier (T) fait en même temps l'encliquetage qui empêche le disque de tourner dans le sens autre que celui qui corres-

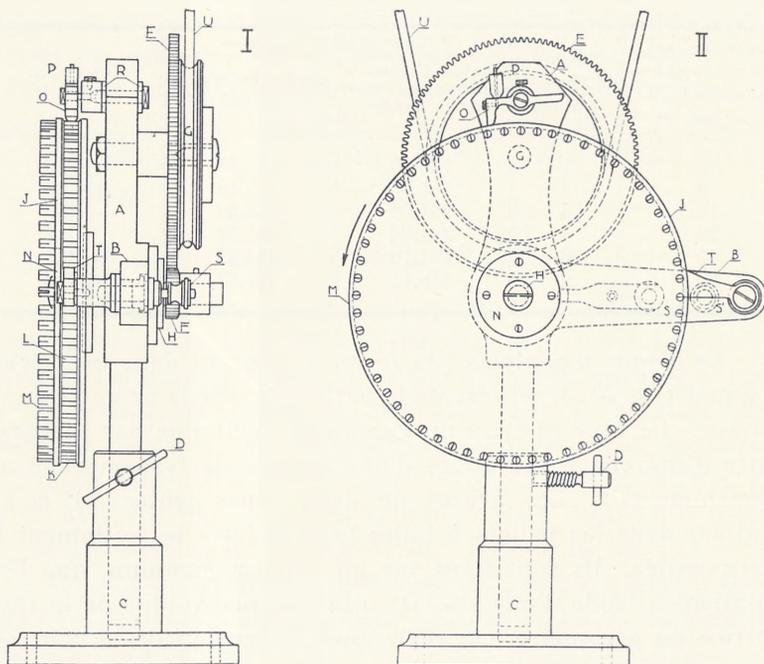


Fig. 5. L'enregistreur de ventilation vu de profil (I) et de face (II). Le support de l'enregistreur, son bras supérieur (A), latéral (B) et la base (C), munie d'une vis (D). Les roues dentées (E et F) de l'engrenage qui tournent dans les paliers à billes (G et H) du support. Le disque en ébonite (J), la gorge (K) ménagée sur sa jante et munie de 60 contacts (L). Autant de goupilles (M), présentant des incisions qui permettent de les connecter. Le rond médian (N) du disque à contacts. Le marteau (O) faisant contact, chargé du poids (P) et fixé sur une pièce isolante au bras supérieur du support. Deux hornes dont une (S) est reliée au rond médian du disque et l'autre (S') au marteau. L'encliquetage (T) fixé sur le bras latéral empêche les mouvements de recul du disque. La transmission (U) met en rapport la grande roue dentée de l'engrenage (E) avec la roue motrice du gazomètre.

Rys. 5. Rejestrator wentylacji, widziany z boku (I) i z przodu (II). Statyw rejestratora z ramieniem górnym (A) i bocznym (B) oraz podstawą (C), zaopatrzoną w śrubę (D). Koła (E, F) przekładni zębatej, na osiach, obracających się w łożyskach kulkowych (G, H) statywu. Tarcza kontaktowa (J) z ebonitu, z rowkiem obwodowym (K), z 60-ma kontaktami (L) i także liczbą czopów mosiężnych (M), z nacięciami do łączenia

ich drutem; środkowy krążek mosiężny (N) tarczy kontaktowej. Młotek kontaktowy (O) z ciężarkiem (P), osadzony na masie izolującej (R) na górnym ramieniu statywu. Zaciski, z których jeden (S) łączy się ze środkowym krążkiem tarczy, drugi zaś (S') — z młotkiem kontaktowym. Piesek (T), osadzony na bocznym ramieniu statywu, zapobiegający wstecznym ruchom tarczy kontaktowej. Przekładnia gumowa (U), łącząca duże koło przekładni zębatej rejestratora (E) z kołem napędowym gazomierza.

pond à la direction du mouvement d'air. La tendance à tourner dans le sens inverse est particulièrement nette lorsque la ventilation augmente. Elle provient du mouvement de recul de l'axe du gazomètre et constitue une cause d'erreur importante et difficile à déterminer exactement dans l'enregistrement de la ventilation par méthode de Z u n t z et G e p p e r t.

La transmission élastique (U) qui transmet la rotation de l'arbre du gazomètre à l'enregistreur a pour but d'amortir la force des mouvements de recul agissant sur l'encliquetage. On parvient grâce à ce dispositif à supprimer complètement les fermetures du courant autres que celles produites par le disque tournant dans la direction correspondant à celle du mouvement d'air.

Le levier (O) est un petit marteau métallique. La partie du marteau qui glisse dans la gorge est chargée d'un poids (P) pour éviter les vibrations. L'axe du marteau est isolé de la masse du support (R), et relié par un conducteur à l'autre borne (S) du bras horizontal du support.

Les deux bornes (S et S') font partie du circuit d'accumulateur. Un signal de D e p r e z de grande fréquence propre (100 vibrations par seconde) est intercalé dans ce circuit. Il enregistre sur une bande de papier enfumé les fermetures du courant produites par le disque à contacts (comparez les fig. 6a et 9-a).

Nous avons choisi dans nos expériences le rapport de la roue motrice du gazomètre et des engrenages de façon à ce qu'une révolution complète du disque correspond à 2.1 litres d'air. Dans les cas où toutes les goupilles du disque étaient en rapport avec la plaque médiane, une excursion du signal correspondait à 35 cc d'air expiré. En reliant la plaque médiane à un nombre variable de goupilles équidistantes on obtient différents degrés de précision dans les mesures de ventilation. La divisibilité du nombre des contacts (60) permet d'obtenir ainsi 12 com-

binaisons dans lesquelles une fermeture du courant enregistrée par le signal correspond à 35, 70, 105, 140, 174, 210, 350, 420, 525, 700, 1050 et 2100 cc.

L'appareil que nous venons de décrire a ceci de particulier qu'il permet d'adapter le degré de précision des mesures de ventilation aux conditions de l'expérience respiratoire. Dans les

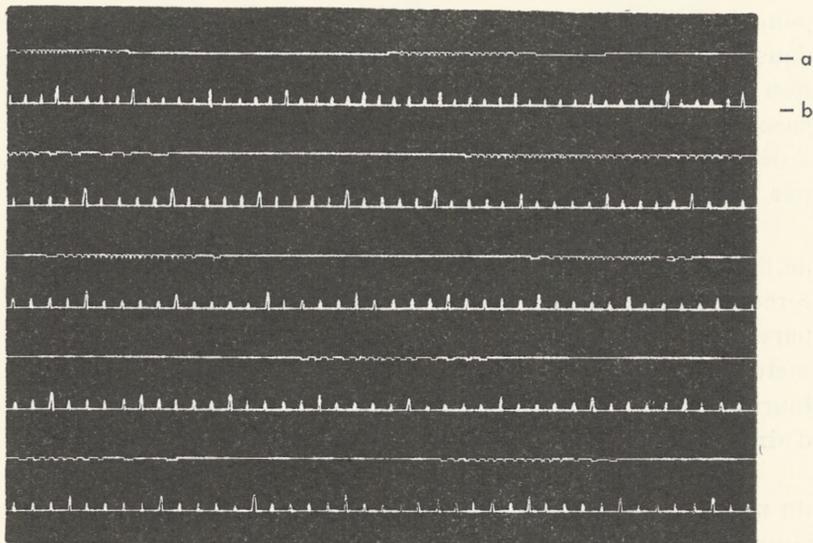


Fig. 6. Un fragment du graphique (enregistrement en spirale) qui indique le mode d'enregistrement du volume de chaque expiration et la succession des expirations dans le temps: a — la ligne du signal qui note les fermetures du courant produites par le disque à contacts (comp. la fig. 5), — une fermeture correspond à 35 cc d'air expiré; b — la ligne du chronomètre de Jacquet, indiquant les cinquièmes de seconde.

Rys. 6. Wycinek ze spiralnego narysu kimograficznego, wyjaśniający sposób rejestrowania objętości pojedynczych wydechów i ich następstwa w czasie: a — linja znacznika, zapisującego zamknięcia prądu w tarczy kontaktowej rejestratora wentylacji (por. rys. 5), — jedno zamknięcie odpowiada 35 cm³ powietrza wydechowego; b — narys chronometru Jacquet'a, znaczącego $\frac{1}{5}$ sekundy.

expériences où l'on s'occupe surtout du volume total d'air ventilé dans un laps de temps assez prolongé, on peut se contenter d'une précision moindre de l'enregistrement; on l'obtient en diminuant le nombre de goupilles reliées à la plaque médiane. On choisit ce nombre de façon à ce que la précision de la détermination du volume soit dans les limites de l'erreur de l'analyse gazeuse. Dans les expériences ou l'enregistrement de ventilation

pendant les changements brusques de son intensité nous intéresse en premier lieu, nous affinons l'enregistrement, en augmentant le nombre de goupilles reliées à la plaque médiane.

Si l'on relie toutes les goupilles, en accélérant en même temps la rotation du cylindre enregistreur, on a la possibilité d'enregistrer le volume d'une unité biologique de ventilation qu'est une expiration isolée.

La fig. 9 représente l'enregistrement obtenu lorsque les 60 goupilles de l'enregistreur étaient reliées à la plaque médiane. L'autre ligne indique le temps en cinquèmes de seconde enregistrées par un chronomètre de J a c q u e t. Sur ce graphique les expirations sont indiquées par les fermetures groupées du signal, chaque fermeture correspondant à 35 cc d'air expiré, tandis que l'immobilité du signal indique la période d'inspiration.

En effectuant la lecture du nombre de fermetures correspondant à une expiration, de la durée d'une expiration et de la succession dans le temps des expirations isolées, on peut construire un graphique indiquant l'évolution du rythme respiratoire et de la profondeur des expirations. En additionnant ensuite le volume des expirations successives effectuées pendant les segments égaux et arbitraires de temps, on peut construire un graphique indiquant la vitesse d'écoulement d'air expiré pendant la période étudiée.

4. Prise d'échantillons d'air expiré pour l'analyse.

On effectuait la prise d'échantillons des gaz provenant des expériences assez prolongées à l'aide de l'installation connue, existant dans les compteurs E l s t e r. Elle sert à l'abaissement automatique du niveau de liquide qui ferme les burettes à prélèvement. La vitesse de l'abaissement est proportionnelle au passage d'air à travers le compteur. Les échantillons d'air sont recueillis sous l'eau acidulée et analysés immédiatement après dans l'audiomètre de Z u n t z et G e p p e r t.

Dans les expériences où l'on voulait, au contraire, connaître les changements que subit l'air expiré à des petits intervalles de temps on se servait pour prélèvement d'échantillons des éprouvettes à deux robinets où l'on réalisait un vide au préalable (v. fig. 8 S). On mettait un certain nombre de ces récipients sur un support commun, on réunissait ensuite leurs orifices supérieurs et leurs orifices inférieurs par deux tubes capillaires,

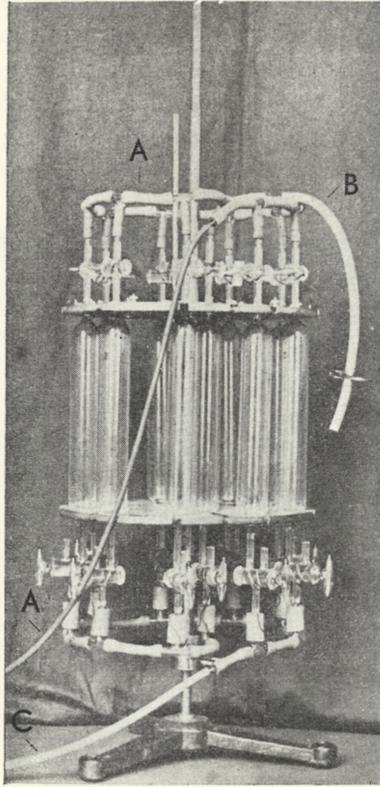


Fig. 7. Tourniquet avec 12 récipients à vide pour la prise d'échantillons d'air expiré: A — tube capillaire de caoutchouc qui relie les orifices supérieures des récipients à la boîte à ventilateur (comp. la fig. 4); B — tube pour aspiration d'air à travers le tube capillaire qui unit les uns aux autres les orifices supérieures des récipients; C — le tube inférieur de caoutchouc à parois épaisses, en rapport avec la pompe à vide.

Rys. 7. Statyw obracalny z 12-ma naczyniami próżniowymi do pobierania próbek powietrza wydechowego: A — kapilarna rurka gumowa, łącząca górne wyloty naczyń próżniowych ze skrzynką wentylatorowa (por. rys. 4); B — rurka do przeciągania powietrza przez kapilare, łączącą górne wyloty naczyń; C — dolna grubościenna rurka gumowa, połączona z pompą próżniową.

ayant chacun un embranchement pour chaque éprouvette (v. la fig. 7). Lors de l'expérience on mettait en rapport le tube capillaire supérieur (A) avec le tube à prélèvement de la boîte à ventilateur (comparez la fig. 4 I D) et le tube capillaire inférieur (C) avec une pompe à l'huile. On fermait les robinets du tube supérieur, on ouvrait ceux du bas et on faisait fonctionner

la pompe. Même lorsque le vide était déjà atteint la pompe continuait à fonctionner pendant toute la durée du prélèvement d'échantillons. Pour effectuer le prélèvement, on opérait de façon suivante. On fermait d'abord dans chaque récipient le robinet du bas, ensuite on ouvrait pour le temps juste nécessaire pour le remplissage celui du haut. On remplissait ainsi successivement toutes les éprouvettes. On notait sur un cylindre enregistreur les moments (fig. 9 e) correspondant à ce remplissage.

Lorsqu'on prélève l'air provenant des périodes expérimentales relativement prolongées, le problème de son brassage ne se pose pas; il n'en est plus de même lorsqu'il s'agit des prises brèves faites dans les éprouvettes à vide. L'absence de l'homogénéité peut constituer alors une cause d'erreur importante. C'est pourquoi nous avons installé après des longs tâtonnements notre boîte à ventilateur (fig. 4) qui assure le brassage parfait de l'air expiré.

Pour en acquérir la conviction nous avons effectué les expériences au repos et au travail dans lesquelles nous avons recueilli les échantillons d'air dans les éprouvettes à vide à des petits intervalles de temps et nous les avons analysés.

On faisait l'analyse d'air recueilli dans l'appareil pour l'analyse des gaz dont la description suit.

5. *L'appareil pour l'analyse des gaz respiratoires.*

L'appareil dont nous nous servons depuis fort longtemps au Laboratoire de Physiologie de l'Institut Nencki, est basé sur le principe de compensation thermobarométrique, comme d'ailleurs la plupart d'appareils modernes de ce genre. C'est en somme l'ancien appareil de *Tobiesen*¹⁾, considérablement modifié. Notre appareil est beaucoup plus maniable que l'ancien et il présente de plus les modifications et les perfectionnements suivants: 1°, la burette à gaz est en U, ce qui augmente la précision des lectures du volume; 2°, la réduction à moitié du volume total de la burette; 3°, la possibilité de faire varier à volonté le volume d'air dans le récipient thermobarométrique; 4°, les pinces à vis pour les tubes de caoutchouc qui servent à régler la hauteur du mercure dans les branches de la burette; 5°, l'étan-

1) *Tobiesen* F. 1895. Über den spezifischen Sauerstoffgehalt des Blutes. Skand. Arch. f. Physiol. 6 (273).

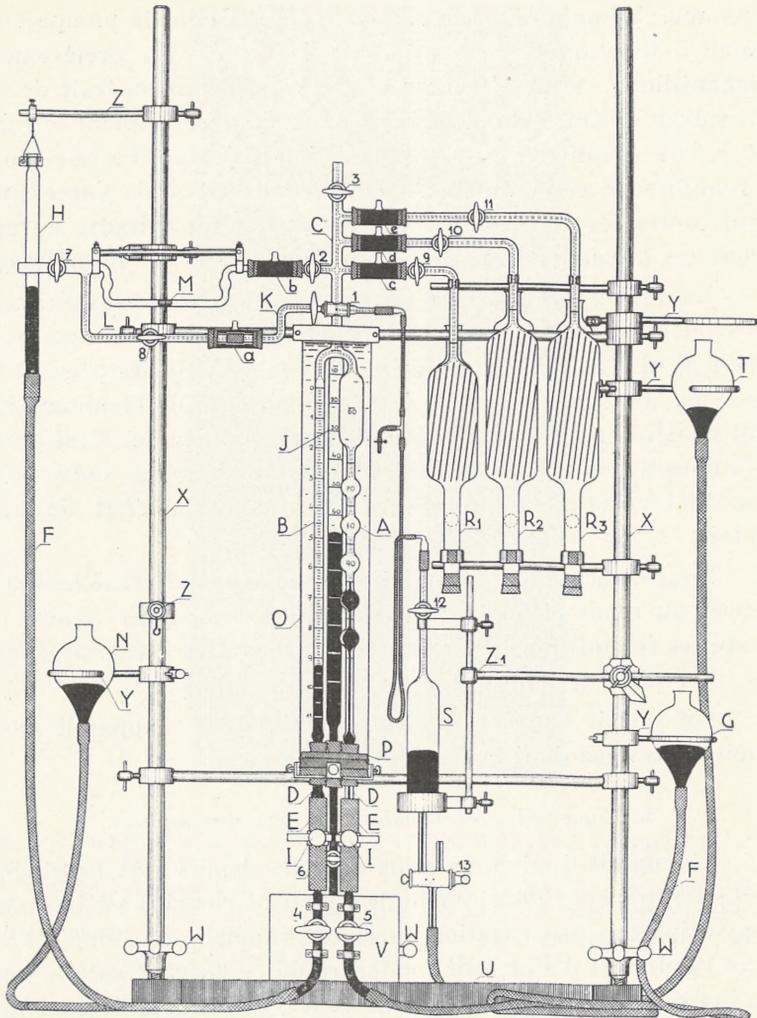


Fig. 8. L'appareil pour l'analyse des gaz respiratoires. La burette en U: la branche droite (A) divisée en dizaines et gauche (B) en dixièmes d'unités de volume. La partie capillaire supérieure (C) de la burette avec les robinets (1 et 3) d'entrée et de sortie des gaz, avec 4 dérivation latérales, dont 3 en rapport avec les burettes à absorption (R_1 , R_2 , R_3) et la 4-me communiquant par le robinet (2) avec le récipient thermobarométrique (J). Les orifices inférieurs (D) communiquent avec les réservoirs mobiles à mercure (G et H) par intermédiaire des tubes élastiques (E), des robinets (4, 5) et des tubes à parois épaisses (F). Les pinces à vis (I) qui permettent de régler le niveau du mercure dans les deux branches de la burette. Le thermobaromètre: tube à gaz (J), gradué en dizaines, sa partie capillaire (K); l'indicateur thermobarométrique (L), son tube horizontal à deux renflements sphériques, le point zéro et la gouttelette de pétrole (M); le tube horizontal est relié par le robinet (2) à la burette

à gaz. Le bras inférieur à deux robinets (7 et 8) est en rapport avec le tube capillaire (K). L'orifice inférieur du tube à gaz (J), muni de robinet (6) est relié par un tube de caoutchouc au réservoir à mercure (N). Le manchon cylindrique (O), rempli d'eau et fermé en bas par le bouchon de caoutchouc (P). Ce bouchon est percé de 3 trous, traversés par les extrémités (D) de la burette et (6) du thermobaromètre. Les burettes à absorption des gaz (R_1 , R_2 , R_3), munies des robinets (9, 10, 11). Les manchons remplis de mercure qui rendent étanches les raccords de caoutchouc reliant la burette à gaz au thermobaromètre (a, b) et aux burettes à absorption (c, d, e). L'éprouvette (S), contenant l'air à analyser. Ses robinets (12 et 13) sont reliés par les tubes de caoutchouc l'un au robinet de prise (1) de la burette à gaz, l'autre au réservoir à mercure (G). Le support métallique de l'appareil: la base (U) à trois bras, munie des vis (W) pour régler le niveau; le tableau (V) qui porte les pinces à vis (1) et les robinets (4 et 5), deux montants (X) et une série des noix pouvant glisser le long du support et portant des tiges latérales; les supports (Y) et les mélangeurs (Z) pour les récipients horizontaux; support (Z_1) pour l'éprouvette contenant l'échantillon de gaz.

Rys. 8. Przyrząd do analizy gazowej. Biureta gazowa dwuramienna: ramię prawe (A), podzielone na dziesiątki, i lewe (B), podzielone na dziesiąte części jednostek objętościowych; część górna, kapilarna biurety (C) — z kranami do pobierania (1) i wypuszczania (3) gazu i z czterema odgałęzieniami bocznymi, z których trzy łączą się z pipetami absorbcyjnymi (R_1 , R_2 , R_3), czwarte zaś z kranem (2) — ze zbiornikiem termobarometrycznym (J); dolne wyloty biurety gazowej (D) komunikują za pośrednictwem sprężystych rur gumowych (E), kranów (4, 5) i grubościennych węzłów (F) z naczyniami poziomowymi (G, H); zaciski śrubowe (I) do regulowania poziomu rtęci w obu ramionach biurety gazowej. Termobarometr: zbiornik gazu (J), podzielony na dziesiątki i jego szyjka kapilarna (K); wskaźnik termobarometryczny (L), jego rurka pozioma z dwoma rozszerzeniami kulkowymi, kroplą nafty (M) i znakiem zerowym, połączona w biuretę gazową kranem (2), i ramię dolne z dwoma kranami (7, 8), łączące się z szyjką termobarometru (K); wylot dolny zbiornika termobarometrycznego z kranem (6) komunikuje za pośrednictwem węzła gumowego z naczyniem poziomowym (N). Szklany płaszcz cylindryczny (O), napełniony wodą i zamknięty od dołu korkiem gumowym (P), przez który przechodzą dolne wyloty biurety gazowej (D) i zbiornika termobarometrycznego (6). Pipety do absorbowania gazów (R_1 , R_2 , R_3) z kranami (9, 10, 11). Płaszczki rtęciowe, uszczelniające połączenie między biuretą gazową a termobarometrem (a, b) i pipetami absorbcyjnymi (c, d, e). Zbiornik (S) z próbką gazu do analizy wraz z kranami (12, 13), połączony rurkami gumowymi, z jednej strony — z kranem pobierającym biurety gazowej (1) i naczyniem poziomowym (G), z drugiej. Statyw metalowy przyrządu: żelazna podstawa trójramienna (U) ze śrubami (W) do nastawiania poziomu; tablica (V) do umocowania zacisków śrubowych (1) i kranów (4, 5), dwa pręty pionowe (X) i szereg przesuwalnych poprzeczek z zaciskami do części szklanych przyrządu; uchwyty (Y) i wieszadła (Z) do naczyń poziomych; uchwyt do zbiornika z próbką gazu (Z_1).

chéité de tous les points de jonction de la burette obtenue par le mercure.

Tous ces changements ont amené la transformation du support qui maintient la partie en verre de l'appareil, de sorte que l'aspect général de cet appareil est tel qu'on le voit sur la figure 8. La partie essentielle est constituée par une burette en U

(ABCD). Elle est entourée d'un manchon de verre (O), rempli d'eau. Le récipient thermobarométrique (J) et le mélangeur plongent dans le même manchon, fermé en bas par un bouchon de caoutchouc (P). Le volume total du tube mesureur est de 60.5 cc. Il est divisé en 121 parties, correspondant chacune à 0.5 cc. On a ainsi obtenu une diminution considérable du volume et de la longueur de la burette. On pourrait la réduire davantage si l'on voulait adapter l'appareil à l'analyse de très petits volumes de gaz.

Dans la burette à gaz de notre appareil la branche de droite (A) présentait 6 renflements, séparés l'un de l'autre par les traits de jauge. Le premier de ces renflements et l'espace compris entre le robinet d'entrée (1) et le trait zéro de la branche gauche (B) correspond à 60 unités de volume, les 5 autres renflements sphériques ont le volume de 10 unités chacun. La branche gauche (B) de la burette était divisée en 110 parties. Son volume était de onze unités, une division correspondait par conséquent à 0.1 d'unité.

Les orifices inférieurs (D) de deux branches de la burette étaient branchés aux deux robinets (4 et 5) par intermédiaire de deux tubes en caoutchouc élastique (E). Les tubes (E) traversaient les pinces à vis (I). Les robinets communiquaient par les tubes de caoutchouc à parois épaisses avec les réservoirs mobiles à mercure (G et H).

La partie (C) de la burette qui fait saillie hors du manchon est munie du robinet (1), par lequel les échantillons de gaz pénètrent dans le tube mesureur, et d'une série des dériviatives capillaires. L'extrémité supérieure du tube, munie du robinet (3) sert à chasser les gaz de la burette après l'analyse. Les trois dériviatives latérales de droite sont en rapport avec les burettes à absorption (R_1 , R_2 , R_3). La dérivation latérale gauche à robinet (2) connecte le tube mesureur au thermobaromètre.

Ce dernier était composé des parties suivantes: 1°. Indicateur thermobarométrique (L), constitué par un tube horizontal à deux renflements sphériques, contenant une gouttelette de pétrole coloré (M) et par un bras inférieur à deux robinets (7 et 8); 2°. Tube à gaz (J) ayant des divisions correspondant à 10 unités chacune et surmonté d'un tube capillaire (K) relié à l'indicateur thermobarométrique. L'orifice inférieur du tube (J) est muni d'un robinet (6); 3°. Réservoir mobile à mercure (N) communi-

cant par un tube de caoutchouc avec l'orifice inférieur du tube (J).

Tous les raccords de la burette à gaz aussi bien ceux qui la mettent en rapport avec le thermobaromètre (a, b) que ceux qui la reliait aux burettes à absorption (c, d, e) sont faits de tubes de caoutchouc élastique et rendus étanches par les manchons remplis de mercure. L'arrangement de ces raccords est expliqué sur la figure (fig. 8 a). Les parties en verre de l'appareil étaient fixées sur le support métallique. La base du support (U), munie des vis (W) pour réglage du niveau portait un tableau auquel on a fixé les pinces à vis (I) et les robinets inférieurs (4, 5) de la burette à gaz. On pouvait déplacer le long des montants (X) une série des noix portant des tiges latérales. Ces tiges étaient munies de dispositifs spéciaux servant des supports pour le manchon (O), les burettes à absorption (R₁, R₂, R₃), l'indicateur du thermobaromètre (L) et les réservoirs à mercure (Y, Z). Il y avait aussi un support spécial (Z₁) pour les éprouvettes (S) contenant les échantillons des gaz à analyser.

Avant de faire passer le gaz de l'éprouvette à échantillons dans le tube mesureur, on égalise d'abord la différence de pression entre le tube (J) du thermobaromètre et l'air extérieur. On ouvre dans ce but pour un instant les robinets (7) et (8) de l'indicateur. On fait pénétrer ensuite le gaz dans la branche droite de la burette par le robinet (1). La détermination du volume de gaz prélevé pour l'analyse ou ramené dans la burette des récipients à absorption s'effectuait de façon suivante.

On ouvrait d'abord le robinet (5) et on ramenait, en déplaçant l'ampoule à mercure (G), le niveau de mercure dans la branche droite de la burette jusqu'au trait le plus proche entre les sphérules. On fermait ensuite le robinet (5) et on ouvrait le robinet (4), en refoulant l'excès de gaz dans la branche gauche (B) de la burette et en ramenant grossièrement la pression dans la burette à la valeur de la pression extérieure par un manie-ment convenable de l'ampoule à mercure (H). On fermait alors le robinet (4) et on égalisait la pression de la burette à gaz avec celle du thermobaromètre. On ouvrait dans ce but avec précaution le robinet (2) de la burette à gaz, ensuite le robinet (8) de l'indicateur thermobarométrique (L) et on ramenait la goutte-lette de pétrole (M) en manoeuvrant la pince à vis (1), au trait zéro. Après avoir brassé l'eau dans le manchon de verre, on ve-

rifait un fois encore la position de la gouttelette (M) et le niveau de mercure dans la branche droite de la burette. On répétait cette manœuvre à des brefs intervalles de temps jusqu'à l'égalisation complète des pressions du thermobaromètre et de la burette.

La lecture du niveau définitif du mercure dans la branche gauche de la burette donnait une approximation de 0.02 d'unité de volume. C'est cette erreur absolue de lecture que comportaient nos déterminations d'oxygène et d'anhydride carbonique faites à l'aide de l'appareillage que nous venons de décrire.

IV. La marche des expériences.

L'appareillage que nous venons de décrire permet d'enregistrer simultanément sur un cylindre enregistreur les données suivantes:

1°. Le volume d'air expiré traversant le compteur à gaz — grâce au signal intercalé dans le circuit de l'enregistreur de ventilation (v. fig. 9 a).

2°. Le nombre d'inspirations et d'expirations — grâce à l'interrupteur du courant logé dans la soupape gauche du masque (fig. 9 c).

3°. Le mouvement de l'échelle — grâce à la clé fermée par les cames aux extrémités des marches (fig. 9 d).

4°. Le temps en fractions de minute — grâce à une pendule à balancier fermant le courant (fig. 9 b).

5°. Les moments de prélèvement d'échantillons d'air expiré — grâce à la clé qui se trouve près du support contenant les éprouvettes à échantillons (fig. 9 e).

On vérifiait avant l'expérience de fonctionnement des tous les 5 signaux et on choisissait suivant la vitesse désirée du mouvement de l'échelle, la poulie convenable sur l'arbre de l'engrenage et la résistance au rhéostat. On connectait ensuite un nombre variable de goupilles du disque au rond médian de l'enregistreur suivant la précision voulue dans la détermination de la ventilation; on mettait ensuite en mouvement le moteur de la boîte à ventilateur. Le sujet était pesé, on lui mettait le sac au dos et le masque dont on vérifiait l'étanchéité et le fonctionnement, on ajustait aux orifices des soupapes les raccords coudés des tuyaux de caoutchouc venant des robinets du sac et la pé-

riode de repos de l'expérience commençait. Le sujet se trouvait alors debout sur l'échelle. Un tuyau lui amenait l'air frais de l'extérieur, un autre conduisant l'air expiré au gazomètre. On fermait alors le courant dans les 5 circuits des signaux, on mettait en mouvement le cylindre enregistreur et on commençait le prélèvement des échantillons d'air.

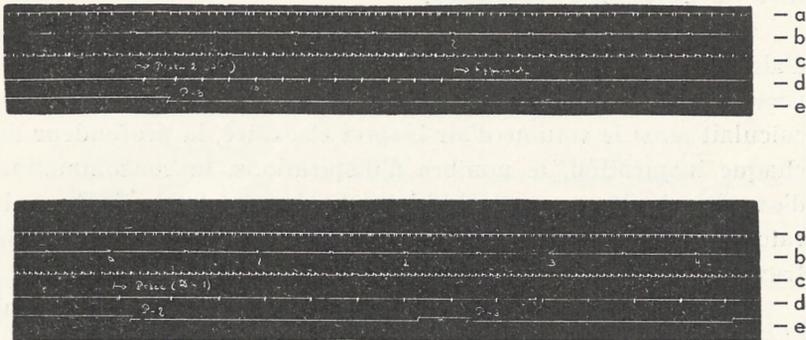


Fig. 9. Les graphiques obtenus au cours des expériences sur les échanges gazeux chez l'homme au repos et au travail. La marche des expériences est décrite dans le texte. La flèche entre la troisième (c) et la quatrième (d) ligne de chaque graphique indique le moment du commencement de travail. Signification des graphiques: la ligne (a) — enregistrement de la ventilation (une fermeture correspond à 0.654 litres d'air expiré); la ligne (b) — le temps et $\frac{1}{2}$ minutes; la ligne (c) — le rythme respiratoire; la ligne (d) — enregistrement du mouvement de l'échelle (un trait du signal correspond à 1.2 m.); la ligne (e) indique les moments des prélèvements d'échantillons d'air expiré.

Rys. 9. Narysy kimograficzne, uzyskane w doświadczeniach nad wymianą gazową u człowieka w czasie spoczynku i pracy. Opis prowadzenia doświadczeń podano w tekście. Strzałka między trzecią (c) i czwartą (d) linią każdego narysu oznacza moment rozpoczęcia pracy. Znaczenie narysów: (a) — linja znacznika rejestratora wentylacji (jedno zamknięcie odpowiada 0.654 litrom powietrza wydechowego); (b) — linja czasu — w odstępach półminutowych; (c) — linja rytmu oddechowego; (d) — linja ruchu drabiny (jedno zamknięcie sygnału odpowiada 1.2 m); (e) — linja, wskazująca momenty pobierania próbek powietrza wydechowego.

Cette période de repos durait un quart d'heure. Au bout de ce temps on mettait le courant au moteur actionnant l'échelle et on passait à la période de travail (v. la fig. 9). Il était nécessaire d'accélérer convenablement la vitesse de rotation du cylindre enregistreur. Lorsqu'on arrêtait l'échelle, l'expérience respiratoire continuait un certain temps encore, jusqu'au retour

complet de la ventilation et du rythme respiratoire aux valeurs qu'ils avaient au repos. On faisait constamment aussi bien au repos qu'au travail les prises d'échantillons d'air expiré soit dans les éprouvettes de tourniquet de Zuntz, soit dans les récipients à vide et on notait sur le cylindre les moments qui correspondaient à ces prises. On faisait des lectures fréquentes de l'état du thermobaromètre du compteur Elster pendant toute la durée de l'expérience.

Les graphiques enregistrés et les analyses des échantillons d'air expiré permettent d'analyser les moindres détails de l'expérience toute entière ou de ses parties les plus intéressantes. On calculait ainsi le volume d'air inspiré et expiré, la profondeur de chaque inspiration, le nombre d'inspirations, la consommation d'oxygène, le dégagement d'acide carbonique et le quotient respiratoire, l'énergie dégagée, le chemin parcouru (en montée), le travail exécuté et son rendement.

Pour indiquer la manière de se servir de l'appareillage qui vient d'être décrit et la façon dont on doit effectuer les calculs, nous donnons ici la description détaillée d'une expérience où le sujet exécutait le travail en montant l'échelle.

Expérience Nr. 51, le 24/VI, 1933. — Le sujet K. D. — Le poids du corps, du masque, du sac au dos et des tuyaux est égal à 64.0 kg.

L'expérience est essentiellement composée de deux parties: 1° — Période de repos. Elle durait 14 minutes. Le sujet se tenait alors debout sur l'échelle. 2° — Période expérimentale proprement dite. Le travail durait deux minutes et le repos consécutif quatre minutes.

Pendant toute la durée de l'expérience l'état moyen du thermobaromètre au compteur Elster était de 107.1 cc, les limites des oscillations étant 106.9 et 107.3 cc. Comme il y avait 6 goupilles connectées dans le circuit du disque de l'enregistreur de ventilation, on obtenait le volume normal d'air expiré correspondant à une fermeture du signal d'après la formule suivante

$$\frac{2.1 \times 100}{6 \times 107.1} = 0.327 \text{ litre.}$$

Pendant la période de repos il y avait en moyenne 19.8 fermetures du signal de ventilation par minute. Ce nombre correspond par conséquent à $19.8 \times 0.327 = 6.46$ litres (corrigés) d'air expiré. On peut calculer la valeur des échanges gazeux au repos d'après les résultats moyens d'analyse d'échantillon d'air expiré prélevé pendant toute cette période. L'analyse était effectuée dans l'eudiomètre de Zuntz et Geppert (3.16% de CO₂, 16.97% d'O₂ et 79.87% de N₂). Les échanges gazeux au repos comportent donc $6.46 \times 41.1 = 265$ cc d'oxygène et $6.46 \times 31.3 = 202$ cc d'anhydride carbonique par minute.

Le travail extérieur effectué par le sujet pendant la seconde période, lorsqu'il montait pendant deux minutes l'échelle inclinée de 78 degrés à vitesse de 9.6 mètres par minute est obtenu à partir de la formule suivante $9.6 \times 2 \times 0.976 \times 64.0 = 1199$ kgm.

Les données expérimentales et les valeurs calculées concernant les échanges gazeux au repos et pendant le travail sont rassemblées dans le tableau II et la figure 9a.

Les données de ce tableau qui ont rapport à la ventilation indiquent la vitesse d'écoulement d'air expiré (en cc par minute). Elle est calculée d'après les lectures de l'enregistrement graphique effectuées toutes les $\frac{1}{2}$ minutes. Les deux rangées suivantes du tableau indiquent en pourcentage le déficit d'oxygène et les accroissements d'anhydride carbonique constatés dans les échantillons d'air expiré prélevés de la boîte à ventilateur à différents moments à partir du commencement du travail (0.5, 1, 2, 3, 4, et 5 minutes).

TABLEAU II.

1	2	3	4	5	6	7	8
Nr. d'ordre	Temps écoulé depuis le commencement du travail min.	Vitesse de passage d'air expiré à travers le gazomètre en litres corr. par min.	Analyse d'air expiré		Intensité des échanges gazeux		Quotient respira- toire apparent
			Accrois- sement du CO ₂ %	Déficit d'O ₂ %	Dégage- ment de CO ₂ cc min.	Absorp- tion de O ₂ cc min.	
1	0	6.46	3.13	4.11	202	265	0.76
2	0.25	14.37	—	—	501	706	0.71
3	0.5	—	3.78	5.33	692	1008	0.69
4	0.75	21.15	—	—	840	1262	0.67
5	1	—	4.15	6.31	973	1485	0.66
6	1.25	25.72	—	—	1090	1645	0.66
7	1.75	30.05	—	—	1302	1875	0.69
8	2	—	4.31	6.01	1296	1809	0.72
9	2.25	25.06	—	—	1054	1403	0.75
10	2.75	20.25	—	—	798	945	0.84
11	3	—	3.80	4.35	640	731	0.87
12	3.25	14.61	—	—	547	603	0.91
13	3.75	11.75	—	—	432	447	0.97
14	4	—	3.65	3.73	335	339	0.99
15	4.25	6.72	—	—	243	250	0.97
16	4.75	7.18	—	—	260	280	0.93
17	5	—	3.62	4.04	256	271	0.94
18	5.25	7.42	—	—	264	303	0.86
19	5.50	7.18	—	—	233	297	0.78
20	6	(6.46)	(3.13)	(4.11)	202	265	0.76

Pour avoir les courbes continues des échanges de deux gaz respiratoires, on a calculé les valeurs correspondantes d'intensité d'absorption d'oxygène (rangée 7) et du dégagement d'anhydride carbonique (rangée 6) par interpolation graphique des courbes de ventilation (V), du déficit d'oxygène (0%) et des accroissements d'anhydride carbonique (fig. 9a).

La courbe ainsi établie (comp. la courbe 0 de la fig. 9a) représente l'allure des variations d'intensité des échanges respiratoires, mais elle permet de plus d'apprécier les quantités totales des gaz respiratoires absorbés ou dégagés par l'organisme pendant la période expérimentale donnée. Ces quantités peuvent être déterminées au planimètre — en mesurant la surface limitée par les courbes des échanges gazeux.

Ainsi, par exemple, dans l'expérience en question les mesures des surfaces effectuées à l'aide du planimètre de précision (modèle polaire d'Ott,

Kempton), ont donné les quantités des gaz suivantes, correspondant à la période expérimentale totale (6 minutes) comprenant le travail et le repos consécutif:

3723 cc de CO_2 et 4979 cc de O_2 .

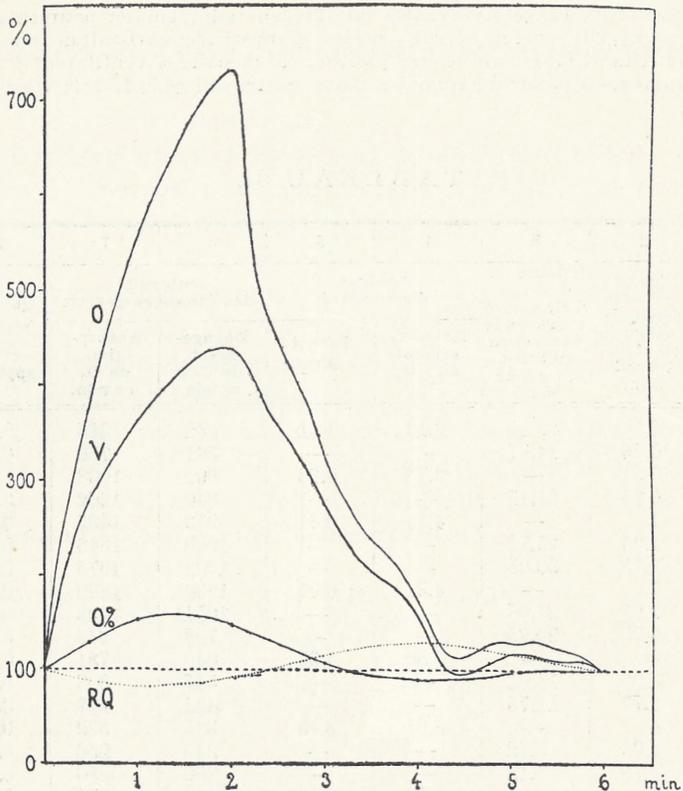


Fig. 9a. Représentation graphique des résultats de l'expérience décrite dans le texte. En abscisses — le temps en minutes à partir du commencement de travail. En ordonnées — les variations des paramètres de l'expérience, exprimées en pourcentages des valeurs au repos. Signification des courbes: V — ventilation, O% — déficit d'oxygène en pourcentage, O — consommation d'oxygène, RQ — quotient respiratoire apparent.

Rys. 9a. Przedstawienie graficzne wyników omawianego w tekście doświadczenia. Na osi odciętych — czas w minutach od chwili rozpoczęcia pracy. Na osi rzędnych — zmiany parametrów doświadczenia, wyrażone w odsetkach wartości spoczynkowych. Znaczenie krzywych: V — wentylacja, O% — procentowy deficyt tlenu, O — zużycie tlenu, RQ — rzekomy iloraz oddechowy.

Ces nombres sont en parfait accord avec les données obtenues par méthode de Zuntz. L'analyse d'échantillon moyen d'air expiré pendant toute la durée de l'expérience (6 minutes) a fourni la composition suivante: 4.01% de CO_2 , 16.07% de O_2 , et 79.92% de N_2 . Les prises d'échantillons

étaient effectuées à l'aide de l'installation connue à vitesse proportionnelle à l'écoulement du gaz. D'après la composition chimique ainsi obtenue et la ventilation qui comportait 96.0 litres corrigés d'air expiré, on peut calculer les quantités totales des gaz respiratoires:

3820 cc de CO₂ et 4818 cc de O₂.

La concordance des résultats obtenus dans toute une série des expériences de contrôle justifie l'emploi de notre appareillage aussi bien dans les expériences brèves, où il s'agit surtout d'étudier les variations rapides d'intensité des échanges, que dans les expériences prolongées, ayant pour but d'établir les quantités totales des gaz respiratoires.

V. Explication des planches.

Planche I.

Fig. 10. Partie de la pièce dans laquelle on trouve l'échelle ergométrique et l'appareillage pour l'étude des échanges gazeux. Vue générale: A — échelle ergométrique; B — compteur à gaz Elster; C — la boîte à ventilateur; D — sac au dos; F — tuyau de caoutchouc amenant l'air expiré à la boîte à ventilateur et au compteur; G — thermobaromètre; H — tuyau de caoutchouc à parois épaisses de la pompe à vide; J — batterie d'accumulateurs.

Rys. 10. Ogólny widok na część pokoju, mieszczącą ergomierz drabinowy i aparatury do badania wymiany gazowej: A — ergomierz drabinowy; B — gazomierz Elstera; C — skrzynka wentylatorowa; D — plecak; E — rura, doprowadzająca świeże powietrze z podwórza; F — wąż gumowy, odprowadzający powietrze wydechowe z maski do skrzynki wentylatorowej i gazomierza; G — termobarometr; H — grubościenna rurka gumowa od pompy próżniowej; J — bateria akumulatorów.

Planche II.

Fig. 11. Partie de la pièce dans laquelle on trouve l'installation d'enregistrement. Vue générale: A₁ — le cylindre enregistreur, à mouvement lent, actionné par un mécanisme d'horlogerie; A₂ — le cylindre enregistreur à bande, à mouvement rapide, actionné par un moteur électrique (C); D — faisceau des conducteurs amenant le courant aux signaux (E); F — interrupteur du courant arrivant au moteur qui actionne l'échelle; G — inverseur du courant permettant intercaler les signaux de l'un ou de l'autre des cylindres enregistreurs.

Rys. 11. Widok na część pokoju z aparaturą do rejestrowania: A₁ — kinograf z napędem sprężynowym o powolnym biegu; A₂ — kinograf taśmowy o szybkim biegu wraz z napędem motorowym (C); D — grupa przewodników, doprowadzająca prąd do znaczników (E); F — wyłącznik prądu, zasilający motor, który porusza drabinę; G — klucz szeregowy do włączania sygnałów w jeden z dwu kinografów.

Planche III.

Fig. 12. Le compteur à gaz Elster, vue postérieure, et l'appareillage accessoire: A — la roue motrice du gazomètre; B — courroie de caoutchouc qui met en rapport la roue motrice du gazomètre avec l'une des roues dentées de l'engrenage de l'enregistreur de ventilation; D — le disque à contacts de l'enregistreur; E — le tuyau de caoutchouc, amenant l'air expiré au gazomètre, par l'intermédiaire de la boîte à ventilateur (F); G — rhéostat qui règle l'arrivée du courant au moteur de la boîte à ventilation; H — le manomètre à mercure.

Rys. 12. Gazomierz Elstera widziany z tyłu wraz z aparaturą dodatkową: A — koło napędowe gazomierza; B — przekładnia gumowa, łącząca koło napędowe gazomierza z jednym z kół przekładni zębatej rejestratora wentylacji (C); D — tarcza kontaktowa rejestratora wentylacji; E — wąż gumowy, doprowadzający powietrze wydechowe przez skrzynkę wentylatorową (F) do gazomierza; G — opornica, regulująca dopływ prądu do motoru skrzynki wentylatorowej; H — rtęciowy manometr próżniowy.

STRESZCZENIE.

W pracy niniejszej podano szczegółowy opis aparatury ergometrycznej i respiracyjnej, używanej w Zakładzie Fizjologii Instytutu im. Nenckiego do badań nad przebiegiem wymiany gazowej u człowieka w czasie pracy i spoczynku. Aparatura ta składała się z szeregu przyrządów i urządzeń, przystosowanych do graficznego rejestrowania natężenia pracy wykonywanej, wielkości wentylacji płucnej, rytmu oddechowego, czasu oraz momentów pobierania do analizy gazowej próbek powietrza wydechowego (por. rys. 9).

Jako ergomierzem posługiwano się drabiną bez końca, poruszaną zapomocą silnika elektrycznego (por. rys. 1 i 10), dającą możliwość łatwego utrzymania tempa pracy na stałym poziomie oraz — dowolnego i w szerokich granicach realizowanego wprowadzenia zmian w natężeniu wykonywanej pracy. Poza tem ergomierz ten pozwala badać zarówno pracę podnoszenia się w górę po szczeblach, jak i wysiłek, towarzyszący opuszczaniu się wdół.

W doborze aparatury do badań nad wymianą gazową człowieka, wykonywującego pracę, szczególną uwagę zwrócono na dokładność pomiarów wentylacji, na zredukowanie do minimum oporów w drogach, odprowadzających powierze wydechowe, oraz na sposób pobierania próbek powietrza wydechowego do analizy i dokładność wykonania analiz gazowych.

Do tego celu służyła przede wszystkim maska (rys. 2), szczelnie przylegająca do twarzy, z wentylami (rys. 3) o małym i dającym się dowolnie regulować oporze, oraz z urządzeniem do automatycznego rejestrowania rytmu oddechowego (rys. 2 C i 3 MLNO). Wylot prawego wentyla łączy się — zapomocą giętkiego węża gumowego (rys. 2 E₂), przytwierdzonego do plecaka (rys. 10 D) — ze skrzynką wentylatorową (rys. 4, 10 C i 11 F), a następnie — z gazomierzem Elstera (rys. 10 B).

Skrzynka wentylatorowa (rys. 4) miała podwójne zadanie: pełniła ona przede wszystkim rolę mieszadła, wyrównującego różnice w składzie chemicznym poszczególnych wydechów, a następnie miała na celu zmniejszenie do minimum bezwładności gazomierza i oporów w drogach odprowadzających.

Notowanie objętości powietrza, przepływającego przez gazomierz, odbywało się automatycznie dzięki zastosowaniu specjalnego przyrządu dodatkowego, obracanego przez koło popędowe gazomierza, zwanego „rejestratorem wentylacji” (rys. 5 i 12 CD). Przez włączenie różnej liczby kontaktów w tarczy tego rejestratora uzyskiwało się możność zapisywania prędkości przepływu powietrza przez gazomierz — z różnym, zależnym od warunków doświadczenia, stopniem dokładności. Przyrząd ten pozwala w zasadzie mierzyć, nawet w doświadczeniach długotrwałych, objętości poszczególnych następujących po sobie wydechów oraz ich następstwo w czasie (rys. 6).

W pracy niniejszej podano ponadto sposób pobierania próbek gazu, zapewniający przeciętny skład powietrza wydechowego, oraz opis aparatu do analizy gazowej (rys. 8).

Z Zakładu Fizjologii Instytutu im. Nenckiego T. N. W.

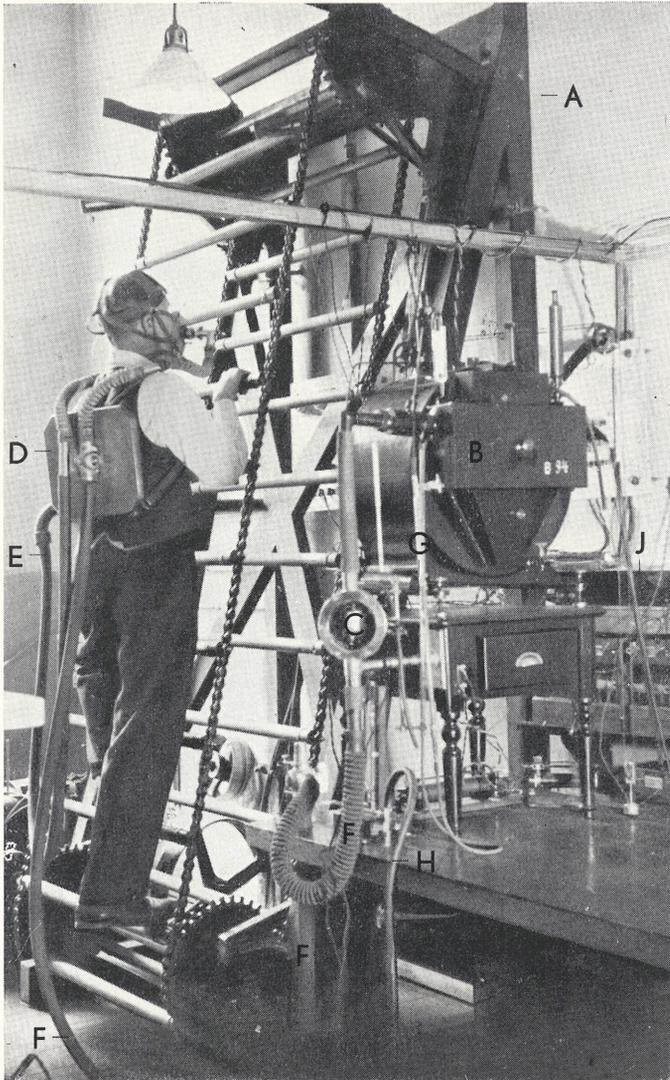


Fig. 10.

K. Białaszewicz.

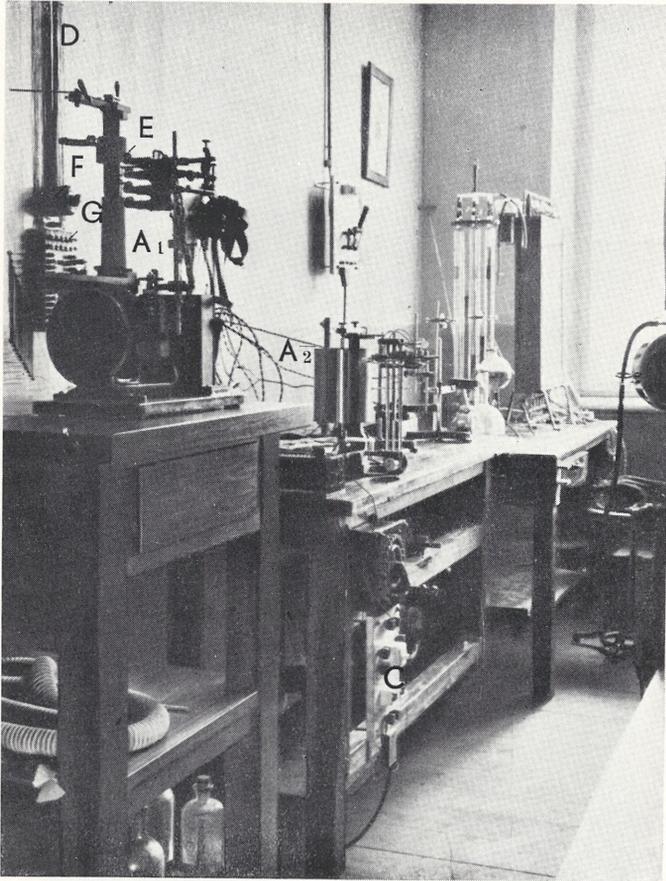


Fig. 11.

K. Białaszewicz.

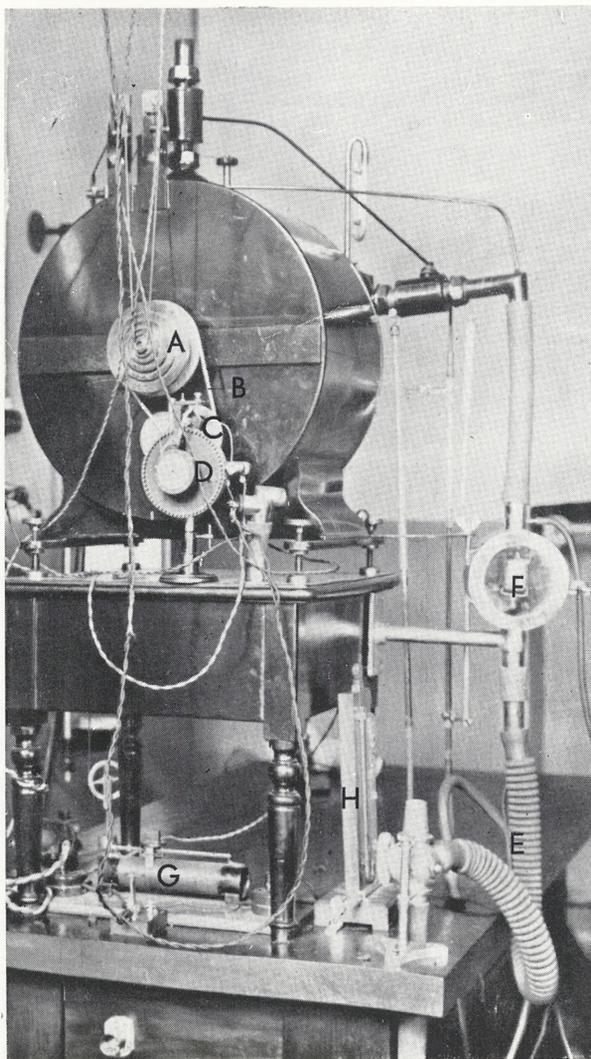


Fig. 12.

K. Białaszewicz.

