

Laboratorium voor Hygiëne en Sociale Geneeskunde (Dir.: Prof. Dr. K. VUYLSTEEK)
Rijksuniversiteit Gent

Résultats spiro-ergométriques chez des sportifs entraînés

Par

W. VAN GANSE, J. STEVENS, N. LAMBEIRE, C. DE SWEEMER et K. VUYLSTEEK

Avec 7 figures dans le texte

(Reçu le 12 mars 1965)

L'appréciation de l'épreuve d'effort

L'appréciation de l'épreuve d'effort chez l'homme représente un problème très complexe. La grande diversité des paramètres proposés pour préjuger de la condition physique d'un individu donné s'explique en partie par le recrutement divers des sujets examinés, selon que les examens s'effectuent dans un service de cardiologie, de pneumologie ou de médecine du travail. En outre, les appareils employés en spiro-ergométrie ne conviennent pas tous au même type d'épreuve; c'est ainsi que plusieurs se servent du métabographe de FLEISCH qui paraît mieux convenir pour les épreuves de longue durée, alors que d'autres emploient le spiromètre de KNIPPING qui fut à l'origine spécialement construit pour les épreuves de «Vita Maxima». Ajoutons à ceci que la médecine sportive et la médecine militaire ont, eux aussi, leurs propres impératifs dictés par la nécessité d'examiner en un court laps de temps un grand nombre d'individus, ce qui ne peut s'effectuer que par de courtes épreuves, qui nécessitent un appareillage plus limité.

Enfin, la terminologie est loin d'être uniforme; c'est ainsi que, par exemple, ROSSIER et MEAN (1943) appellent ventilation spécifique, l'équivalent respiratoire de la littérature française et anglo-saxonne, qui est lui-même le décuple de l'équivalent respiratoire de KNIPPING (1932). Le même problème se présente quand il question du travail maximal que peut effectuer un individu: «Vita Maxima» des auteurs allemands (KNIPPING et al. 1955); «Physical working capacity» des auteurs scandinaves (WAHLUND 1948, ASTRAND 1952); «Puissance maximale supportée» des auteurs français (SADOUL et al. 1957).

Ce manque de standardisation conduit à penser, comme l'écrit REINDELL (1956), que «jedes Laboratorium auf die Gewinnung eigener Normalzahlen angewiesen ist».

Ce travail a bénéficié d'une aide financière du Fonds National pour la Recherche Scientifique (F.N.R.S.).

Nous avons essayé de réunir les résultats d'un groupe restreint mais homogène de sportifs, tous examinés selon une technique standardisée, rigoureusement constante avec un appareillage également standardisé et calibré dont le fonctionnement correct est contrôlé de façon continue.

Sujets examinés, appareillage et méthode

1. Sujets examinés. Au cours des dernières années nous avons examiné environ deux cents athlètes dont nous avons retenu dixneuf dossiers complets sur la base des critères suivants :

- 1) âge entre 18 et 24 ans ;
- 2) sexe masculin ;
- 3) sport pratiqué : cyclisme de compétition ;
- 4) entraînement suffisant, les examens étant effectués en période de compétition ;
- 5) état général parfait sur la foi des examens cliniques, électrocardiographiques, radioscopiques et l'exploration de la fonction pulmonaire au repos ;
- 6) athlètes n'abusant pas de stimulants, n'étant pas sous l'influence de médicaments ;
- 7) non-fumeurs.

2. Appareillage et enregistrement. a) *Appareillage.* L'appareillage utilisé comporte le spiromètre de KNIPPING.

Le sujet respire l'air ambiant en circuit fermé par un embout buccal spécialement construit et adapté pour les épreuves d'effort.

L'absorption de l'anhydride carbonique du circuit est assurée par un granulé de soude. Le dispositif simple s'avérant insuffisant pour les épreuves d'effort de grande puissance, nous y avons adjoint un second absorbeur du même type.

L'enregistrement continu de la concentration en CO_2 (par absorption infra-rouge) s'effectue alternativement au niveau de la bouche du sujet et au niveau de la cloche spirométrique.

Nous pouvons affirmer ainsi que le taux d'anhydride carbonique du circuit demeure constant au cours de l'exercice, l'absorption s'effectuant de façon complète.

La concentration en oxygène de l'air dans le spiromètre est maintenue constante par adjonction continue, adaptée à la consommation.

Ce taux d'oxygène est enregistré au moyen d'un oxytест relié à la cloche spirométrique, contrôle indispensable pour être certain que le sujet respire durant toute la durée de l'épreuve un mélange gazeux de composition constante et identique à l'air ambiant. Le brassage de l'air est effectué par une pompe d'un débit de 250 litres/minute. La température est maintenue constante par un système de refroidissement à l'eau.

b) *Enregistrement.* La fréquence cardiaque est enregistrée de façon continue par cardio-tachomètre. (type T. N. O. Pays-Bas.) L'électrocardiogramme est enregistré continuellement durant l'épreuve à partir des dérivées précordiales. Les données ventilatoires sont notées par l'appareil enregistreur du spiromètre de KNIPPING.

De cette façon il nous est possible de recueillir les données suivantes : la consommation d'oxygène, le volume courant, la fréquence respiratoire et le volume minute.

Par simple calcul, il est possible de déterminer le pouls d'oxygène (REINDELL) et l'équivalent respiratoire.

3. Méthode. Le sujet subit préalablement un examen clinique complet avec électrocardiogramme (12 dérivations) et radioscopie. L'urine est contrôlée avant et après l'exercice quant à la présence d'albumine. L'épreuve d'effort est effectuée dans la matinée, environ trois heures après un repas.

Nous nous sommes servis d'un cyclo-ergomètre de Lode étalonné selon les normes de la C. E. C. A. à l'Institut Néerlandais de Médecine Préventive. (Dir. Dr. J. BONJER). Après une période d'adaptation fixée à cinq minutes, le sujet étant au repos en position assise sur le cyclo-ergomètre et vêtu d'un pantalon de training et de sandales gymnastiques, nous enregistrons les valeurs «de référence» des paramètres mentionnés. En outre nous mesurons la capacité vitale (C. V.), le volume expiratoire maximum seconde (V. E. M. S.) (tous deux corrigés en cc./minute B. T. P. S.), et le rapport $\frac{V. E. M. S.}{C. V.}$ (Tiffeneau). Par contre, nous n'avons pas mesuré le volume

minute maximal. D'une part, la fréquence à laquelle s'effectue la ventilation maximale demeure une notion controversée, les chiffres indiqués dans la littérature s'échelonnent en effet entre 30 et 100 (HERTZ 1959, KROON 1959). D'autre-part, il s'agit d'une mesure fatigante pour le sujet, surtout s'il faut tâtonner quelque peu avant de trouver la fréquence idéale. Enfin, puisqu'il s'agit d'une épreuve d'effort, les valeurs de ventilation maximale sont plus correctement évaluées durant l'épreuve même, plutôt que par l'intermédiaire d'un artifice d'allure arbitraire.

La personne à examiner est ensuite soumise à un exercice de trois cents Watts atteints par paliers successifs de cinquante Watts et maintenus pendant trois minutes chacun. La cadence de rotation est de 60 tours à la minute. La récupération est étudiée au cours des six premières minutes après l'effort.

Les températures extrêmes registrées au laboratoire au cours de la période où s'effectuèrent les examens, furent 18° C. et 25° C.; la pression barométrique varia de 747 à 777 mm. Hg.

Résultats

1. Examens préliminaires. Les caractéristiques biométriques des sujets examinés sont consignées au tableau 1. Nous y avons adjoint les valeurs enregistrées pour la capacité vitale, le volume expiratoire maximum seconde et le rapport de Tiffeneau avec en regard les valeurs théoriques d'après l'école de Nancy (SADOUL et DUSAPIN 1959).

L'anamnèse et les examens préliminaires ne révélèrent dans l'ensemble pas d'anomalies notables.

Aucun des examinés ne manifesta une protéinurie au repos. Chez deux sujets (V. C. G., 2.) et (O. A., 7.) l'urine contenait des traces d'albumine après l'effort, ce qui est d'ailleurs bien connu (e. a. POORTMANS 1962).

2. L'épreuve d'effort. Dans le tableau 2 figurent les valeurs extrêmes, les moyennes obtenues, l'écart-type, et le coefficient de variation des résultats.

a) *La consommation d'oxygène en cc./minute.* (S. T. P. D.) De 320 cc. ($\sigma = 60$ cc.) au repos, la moyenne de la consommation d'oxygène s'élève de façon quasi linéaire jusqu'au palier de 300 Watts en passant successivement à 1.068 cc., 1.561 cc., 2.120 cc., 2.741 cc., 3.340 cc. et 3.871 cc. (Fig. 1). L'écart-type augmente lui aussi, mais de façon irrégulière ($\sigma = 166, 181, 208, 150, 212$ et 332 cc.). Le coefficient de variation reste relativement bas et s'inscrit, dès 150 Watts, en dessous de 10%.

Tableau 1

Nom.	Age (ans)	Poids (Kg.)	Taille (cm.)	CV. (cc. B.T.P.S.)	CV. théor. (cc.)	V.E.M.S. (cc. B.T.P.S.)	V.E.M.S. théor. (cc.)	Tiff. (%)	Tiff. théor. (%)
1. V. D. W.	22	72,5	179	5.777	5.000	4.687	4.100	81	83
2. V. C. G.	19	72	173	5.292	4.300	4.644	3.570	87	83
3. D. C. R.	19	75	182,5	6.184	4.950	5.425	4.110	88	83
4. V. d. B. R.	19	79,5	184	8.440	5.100	5.588	4.230	66	83
5. C. H.	20	76,9	182,5	5.940	5.250	4.212	4.300	71	82
6. P. W.	21	63,8	173,5	5.424	4.650	4.446	3.810	82	82
7. O. A.	21	76	174,5	5.534	4.650	4.481	3.810	81	82
8. V. D. L.	19	70	175	6.017	4.500	4.959	3.735	82	83
9. V. C. L.	20	66,8	174	5.616	4.650	3.852	3.810	68	82
10. P. A.	20	66	180	5.371	5.000	4.286	4.100	80	82
11. V. H. W.	18	67,5	173	5.528	4.300	4.553	3.570	82	83
12. G. W.	20	73,5	171,5	5.291	4.650	4.364	3.810	82	82
13. G. R.	24	71,6	182	6.050	5.250	5.129	4.305	85	82
14. D. V. G.	19	66,8	175	5.268	4.500	4.287	3.735	81	83
15. D. S. J.	20	78	184	7.597	5.400	6.276	4.430	83	82
16. D. N. R.	20	73,5	179	5.902	5.000	4.657	4.100	79	82
17. D. C. R.	22	71	177	5.585	4.800	3.865	3.735	69	82
18. V. d. R. R.	21	69,5	178,5	5.642	5.000	4.286	4.100	76	82
19. V. V. A.	22	77	176,5	6.247	4.800	5.370	3.940	86	82

CV. (cc. B.T.P.S.) = capacité vitale corrigée en cc. B.T.P.S. CV. théor. (cc.) = capacité vitale théorique en fonction du sexe, de l'âge et de la taille d'après SADOUL et DUSAPIN (1957). V.E.M.S. (cc. B.T.P.S.) = volume expiratoire maximal seconde corrigé en cc. B.T.P.S. V.E.M.S. théor. (cc.) = volume expiratoire maximal seconde théorique d'après SADOUL et DUSAPIN.

Tiff. (%) = coefficient de Tiffeneau. Tiff. théor. (%) = coefficient de Tiffeneau théorique d'après SADOUL et DUSAPIN.

b) *La fréquence cardiaque.* De 70,1 ($\sigma = 8,9$) au repos, la moyenne augmente successivement jusque 88,0; 105,8; 124,6; 144,1; 158,4 et 172,7 (Fig. 2).

L'écart-type augmente au début de l'épreuve ($\sigma = 10,6$ à 50 watts puis 12,4 à 100 watts) et ne varie plus beaucoup par la suite.

Le coefficient de variation est du même ordre de grandeur que celui de la consommation d'oxygène.

Max.: valeur maximale enregistrée.

\bar{X} : moyenne arithmétique des résultats.

Min.: valeur minimale enregistrée.

σ : écart-type.

V.: coefficient de variation.

O₂: consommation d'oxygène (cc./min. S.T.P.D.).

V. C.: volume courant (cc. B.T.P.S.).

F. R.: fréquence respiratoire.

V. M.: volume-minute (litres B.T.P.S./min.).

F. C.: fréquence cardiaque.

PO₂: pouls d'oxygène.

E. R.: équivalent respiratoire.

Tableau 2

	Repos.					50 Watts				
	Max.	\bar{X}	Min.	σ	V.	Max.	\bar{X}	Min.	σ	V.
O ₂	445	320	222	60	19	1.424	1.068	710	166	16
V. C.	1.188	878	541	82	21	1.953	1.342	864	297	22
F. R.	24	15,3	10	3,9	25	26	18,2	14	3,6	20
V. M.	19,0	13,1	9,0	2,8	21	31,9	23,9	16,8	3,8	16
F. C.	85	70,1	56	8,9	13	105	88,0	68	10,6	12
P. O ₂	7,1	4,6	3,0	1,0	22	18,4	12,2	9,6	2,0	16
E. R.	65,2	41,9	30,2	8,0	19	31,6	22,7	15,4	4,3	19
	100 Watts					150 Watts				
	Max.	\bar{X}	Min.	σ	V.	Max.	\bar{X}	Min.	σ	V.
O ₂	1.790	1.561	1.358	181	12	2.506	2.120	1.806	208	10
V. C.	2.768	1.769	1.188	345	20	2.712	2.179	1.512	304	14
F. R.	28	20,2	14	3,5	17	32	22,5	16	3,8	17
V. M.	49,8	34,8	29,3	5,2	15	61,9	48,4	34,9	5,6	12
F. C.	135	105,8	83	12,4	12	160	124,6	106	12,5	10
P. O ₂	21,6	14,9	11,5	2,2	15	22,6	17,0	14,4	2,2	10
E. R.	28,5	22,3	18,0	2,8	13	28,7	23,1	19,2	3,0	13
	200 Watts					250 Watts				
	Max.	\bar{X}	Min.	σ	V.	Max.	\bar{X}	Min.	σ	V.
O ₂	2.995	2.741	2.270	150	5	3.838	3.340	2.906	212	6
V. C.	3.193	2.429	1.836	366	15	3.164	2.663	2.160	300	11
F. R.	34	25,6	19	4,8	19	42	31	24	4,9	16
V. M.	75,9	61,3	45,6	7,9	13	100,4	82,2	65,4	11,2	14
F. C.	180	141,1	120	137	9	188	158,4	140	12,7	8
P. O ₂	22,9	19,5	15,8	1,8	9	24,4	21,2	18,0	2,0	9
E. R.	28,1	22,3	17,4	3,0	13	30,7	24,6	20,1	3,0	12
	300 Watts					1-ière-minute-récupération				
	Max.	\bar{X}	Min.	σ	V.	Max.	\bar{X}	Min.	σ	V.
O ₂	4.206	3.871	3.087	332	8	3.222	2.284	1.597	450	20
V. C.	3.895	3.027	2.376	428	14	3.571	2.577	1.782	435	17
F. R.	48	36,2	26	6,6	18	39	26,2	20	5,1	19
V. M.	147,3	108,9	70,8	16,9	16	94,0	67,6	46,2	13,4	20
F. C.	190	172,7	155	7,6	4	175	135,8	112	15,9	12
P. O ₂	26,6	22,4	17,8	2,6	12	27,8	17,0	10,8	3,8	22
E. R.	35,6	28,2	21,5	3,9	14	41,1	30,0	19,9	4,8	16
	3-ième-minute-récupération					6-ième-minute-récupération				
	Max.	\bar{X}	Min.	σ	V.	Max.	\bar{X}	Min.	σ	V.
O ₂	814	582	403	120	21	499	401	269	68	17
V. C.	1.964	1.233	648	350	28	1.660	999	648	226	23
F. R.	32	20,1	9	5,7	28	28	17,7	9	4,8	27
V. M.	33,4	23,4	13,9	4,8	21	20,5	16,8	12,7	2,0	12
F. C.	140	108,4	85	12,1	11	120	91,4	72	11,0	12
P. O ₂	8,6	5,7	4,0	1,3	23	6,2	4,4	3,0	0,9	20
E. R.	61,9	41,3	28,7	9,8	24	54,3	43,0	30,8	9,3	22

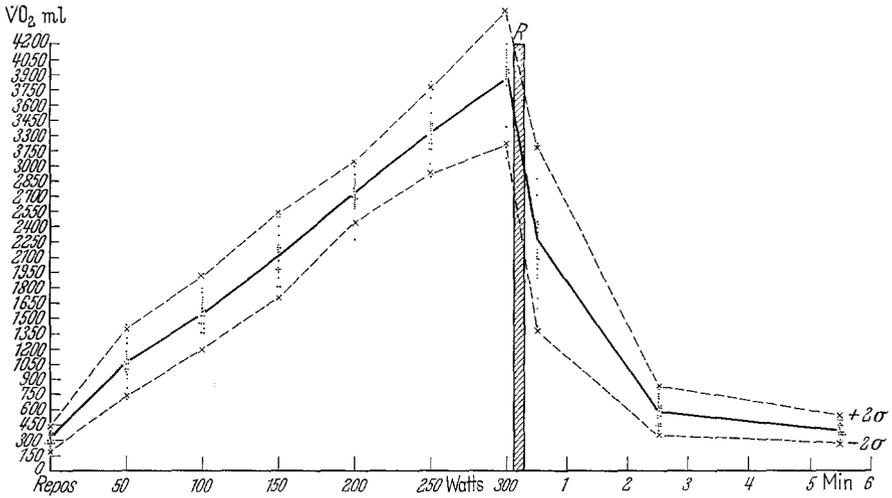


Fig. 1. Consommation d'oxygène en ml. S.T.P.D./min. au cours de l'effort et de la récupération

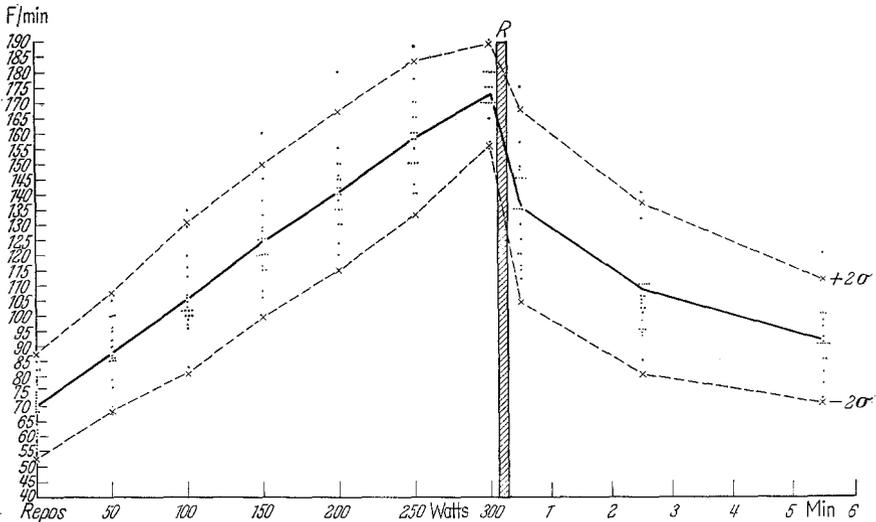


Fig. 2. Fréquence cardiaque en pulsations/min. au cours de l'effort et de la récupération

La fréquence de 170 est atteinte chez V. C. G. (2) entre les paliers de 150 et de 200 Watts, chez P. W. (6), V. D. L. (8) et D. V. G. (14) entre 200 et 250 Watts; V. D. W. (1) V. d. B. R. (4) et C. H. (5) n'ont pas encore atteint cette fréquence à la fin de l'épreuve. Tous les autres sujets examinés l'atteignent entre 250 et 300 Watts.

c) *Le pouls d'oxygène.* Le pouls d'oxygène, quotient des deux précédents paramètres, n'apporte, bien entendu, guère d'éléments nouveaux

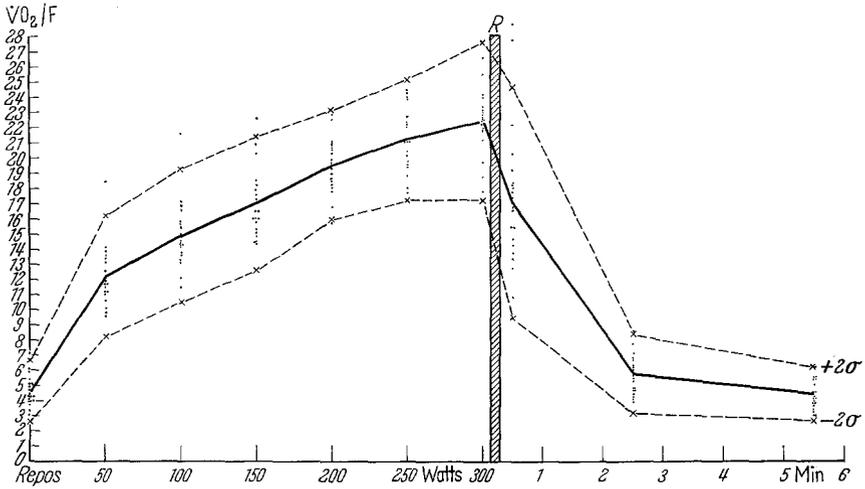


Fig. 3. Poulos d'oxygène (consommation d'oxygène en ml. S.T.P.D./min. divisé par la fréquence cardiaque en pulsations/min.) au cours de l'effort et de la récupération

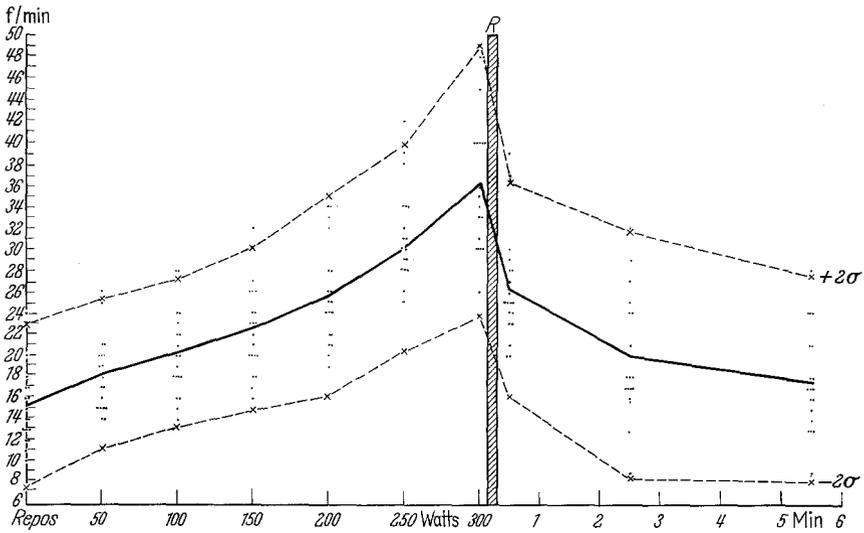


Fig. 4. Fréquence respiratoire en cycles/min. au cours de l'effort et de la récupération

mais permet d'apprécier d'une façon globale les éléments peut-être primordiaux qui délimitent les possibilités du métabolisme musculaire aérobie.

Il atteint au repos 4,6 ($\sigma = 1,0$), monte progressivement à 12,2 ($\sigma = 2,0$); 14,9 ($\sigma = 2,2$); 17,0 ($\sigma = 2,2$); 19,5 ($\sigma = 1,8$); 21,2 ($\sigma = 2,0$) et 22,4 ($\sigma = 2,6$) (Fig. 3).

La plus grande valeur calculée atteignait 26,6 chez le sujet V. d. B. R. (4), un athlète très vigoureux qui accusait une capacité vitale de 8,44 litres (B.T.P.S.). L'écart-type s'établit en fonction des deux paramètres précédents et s'élève nettement dès le début de l'épreuve. Le coefficient de variation, élevé au début de l'épreuve (16 et 15%), s'établit aux alentours de 10% à partir de 150 Watts.

Alors que les paramètres précédents intéressent surtout la circulation et accusent dans l'ensemble une augmentation linéaire lorsque l'effort s'accroît, les paramètres décrits dans la suite ont trait à la fonction ventilatoire.

d) *La fréquence respiratoire.* Au repos, les valeurs varient entre 10 et 24 ($X = 15,3$). Au cours de l'effort, les moyennes des valeurs enregistrées s'élèvent à 18,2 ($\sigma = 3,6$); 20,2 ($\sigma = 3,5$) et 22,5 ($\sigma = 3,8$) à 150 Watts. La pente du tracé (Fig. 4) s'accroît à partir de ce niveau et surtout à partir de celui de 200 Watts, les moyennes s'élevant d'abord à 25,6 ($\sigma = 4,8$) puis à 31,1 ($\sigma = 4,9$) et 36,2 ($\sigma = 6,6$).

Le coefficient de variation demeure, pendant l'effort, de loin supérieur à celui des paramètres précédents; il oscille entre 15 et 20%. La fréquence respiratoire atteint le seuil de 30 au palier de 150 Watts chez le sujet V. C. L. (9); aux 200 Watts chez V. C. G. (2) C. H. (5) et P. W. (6); aux 250 Watts pour D. C. R. (3); V. d. B. R. (4); V. D. L. (8); G. W. (12); G. R. (13); D. V. G. (14) et V. d. R. R. (18); aux 300 Watts pour tous les autres sauf V. D. W. (1).

e) *Le volume courant (B. T. P. S.).* Ici aussi les variations d'un sujet à l'autre sont considérables tant au repos qu'au cours de l'effort.

Au repos, la moyenne atteint 878 cc. avec un écart-type de 182 cc. et un coefficient de variation de 21%.

Pendant l'épreuve, le volume courant passe à 1.342, 1.769, puis à 2.179 cc. au niveau de 150 Watts.

Ensuite l'augmentation devient moindre, les valeurs moyennes s'établissant pour 200 Watts à 2.429, pour 250 Watts à 2.663 et pour 300 Watts à 3.027 cc.

L'écart-type oscille entre 300 et 360 cc., le coefficient de variation se situe d'abord aux environs de 20, puis de 15%. Si l'on compare la Fig. 5 où sont reportées ces valeurs, au graphique précédent, l'on constate que la pente de la courbe des valeurs du volume courant a tendance à s'infléchir là même où la fréquence respiratoire se met à monter en flèche.

f) *Le volume-minute (B. T. P. S.).* La courbe obtenue (Fig. 6) n'est pas sans rappeler celle de la fréquence respiratoire: la pente du tracé augmente à partir des niveaux de 150 et surtout de 200 Watts. Les écarts-types s'accroissent eux aussi régulièrement à mesure que l'effort augmente.

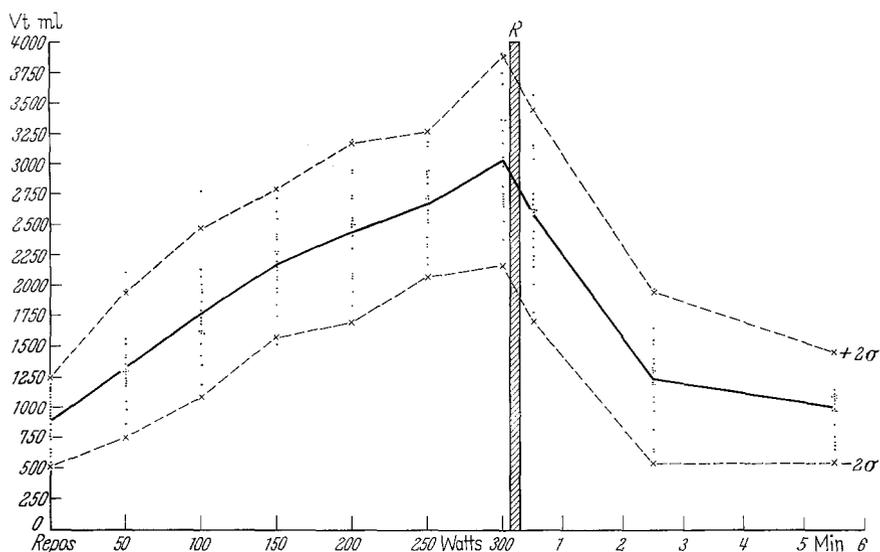


Fig. 5. Volume-courant en ml. B.T.P.S. au cours de l'effort et de la récupération

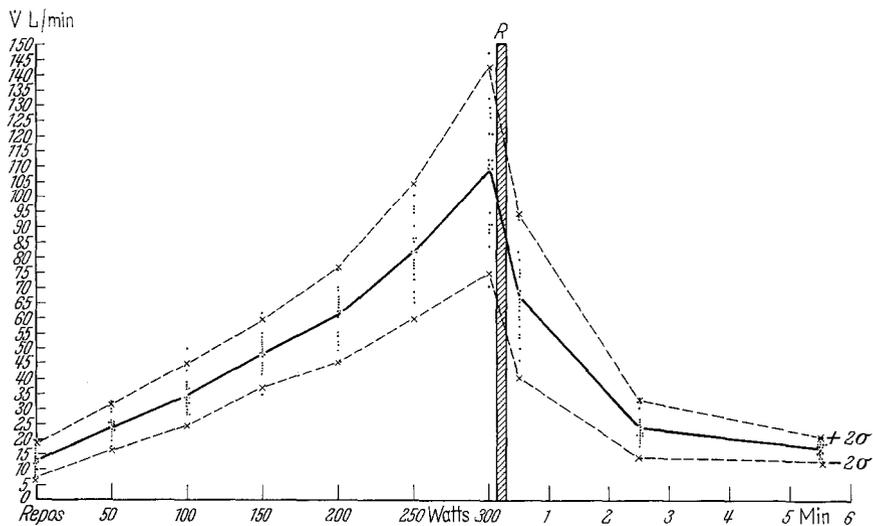


Fig. 6. Volume-minute en litres B.T.P.S./min. au cours de l'effort et de la récupération

Au repos, le volume-minute moyen est de 13,1 litres ($\sigma = 2,8$) avec un coefficient de variation de 21%. Au cours de l'épreuve, nous distinguons schématiquement deux phases dans la courbe : dans la première qui va jusqu'au palier de 200 Watts y compris, la moyenne monte à 23,9, 34,8, 48,4 et 61,3 litres ; dans la seconde partie de la courbe, les valeurs

s'élèvent jusqu' à 82,2 litres et 108,9 litres au niveau de 300 Watts. Le coefficient de variation varie aux alentours de 14%.

g) *L'équivalent-respiratoire*. Quotient du volume-minute par la consommation d'oxygène, il reflète les variations de ces deux paramètres.

C'est ainsi que la valeur moyenne qui atteint 41,9 ($\sigma = 8,0$, coefficient de variation 19%) au repos, s'abaisse dès le début de l'effort (50 Watts) à 22,7 ($\sigma = 4,3$, coefficient de variation 19%) (Fig. 7).

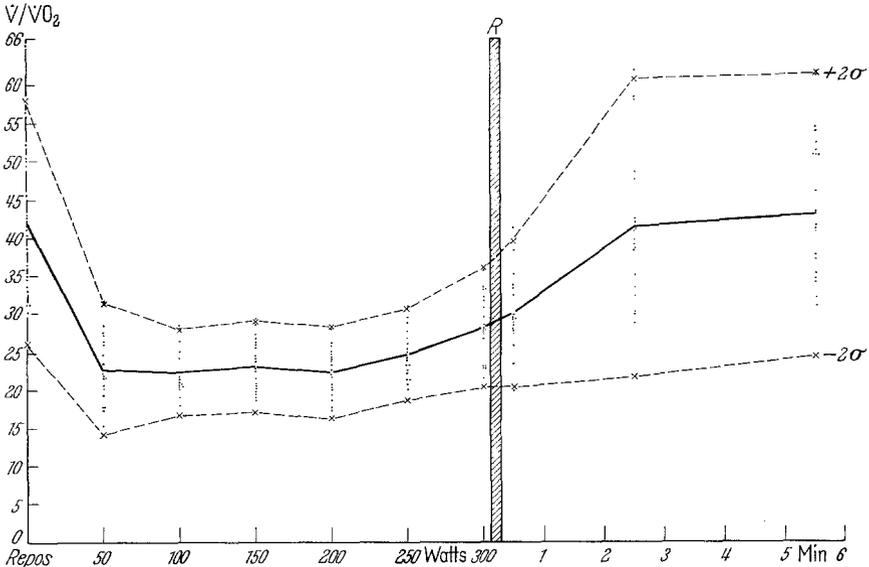


Fig. 7. Equivalent respiratoire (volume-minute en litres B.T.P.S./min. divisé par la consommation d'oxygène en ml. S.T.P.D./min.) au cours de l'effort et de la récupération

La moyenne reste ensuite remarquablement constante jusqu'au palier de 200 Watts. L'on se souviendra que c'est à partir de ce niveau que la fréquence respiratoire et le volume-minute augmentent brusquement, alors que la consommation d'oxygène continue de s'élever de façon linéaire.

La courbe rend compte de cette évolution puisque la moyenne qui atteignit jusque là 22,7 et 22,3 ($\sigma = 2,8$), 23,1 ($\sigma = 3,0$) puis à nouveau 22,3 ($\sigma = 3,0$), s'élève d'un coup à 24,6 ($\sigma = 3,0$) puis à 28,2 ($\sigma = 3,9$).

Sept de nos dix neuf sujets ont au palier de 300 Watts un équivalent respiratoire supérieur à 30.

Le coefficient de variation oscille aux alentours de 13%, dès le palier de 100 Watts.

3. La récupération après l'effort. Qu'il nous soit permis de souligner dès à présent, sans vouloir empiéter sur la discussion, que l'effort et la récupération ne forment qu'un tout et qu'il convient de les considérer

ensemble, l'une comme l'autre pouvant du reste nous renseigner sur la condition physique d'un individu.

Si pourtant nous avons scindé nos courbes en deux parties c'est parce que la récupération fut étudiée de façon discontinue (cfr. paragraphe suivant) et partant, plus incomplète que l'effort proprement dit.

Dans l'ensemble, les courbes décroissent de façon exponentielle, ce dont les trois points étudiés ne fournissent qu'une image très fragmentaire.

a) *La consommation d'oxygène.* Au cours de la première minute, la consommation d'oxygène n'atteint en moyenne que 2.284 cc. ($\sigma = 450$); au cours des troisième et sixième minutes, la moyenne s'abaisse respectivement à 582 ($\sigma = 120$) et 401 ($\sigma = 68$).

Le coefficient de variation passe de 20% à 21% et à 17% au cours de la sixième minute, ce qui est de loin supérieur aux valeurs obtenues au cours de l'effort. Les sujets D. C. R. (3) et G. R. (13) consomment au cours de la sixième minute moins d'oxygène qu'au repos.

b) *La fréquence cardiaque.* Après six minutes de récupération, la valeur moyenne de la fréquence cardiaque est encore nettement supérieure à la moyenne au repos. Les chiffres moyens régressent de 135,8 ($\sigma = 15,9$) à 108,4 ($\sigma = 12,1$) puis à 91,4 ($\sigma = 11,0$). Le coefficient de variation est un peu moins élevé: de 12% il passe successivement à 11% puis de nouveau à 12%. Aucun des sujets examinés ne retrouve après six minutes, sa fréquence de repos. Il faut remarquer également qu'il arrive au maximum de l'effort que tel sujet apparemment plus éprouvé que tel autre, récupère cependant plus rapidement. C'est par exemple le cas pour les sujets V. D. W. (1) et V. d. R. R. (18) dont les fréquences cardiaques au palier de 300 Watts atteignent respectivement 157 et 175; alors qu'au cours de la sixième minute de repos, ces chiffres deviennent respectivement 100 et 85.

c) *Le pouls d'oxygène.* Comme la consommation d'oxygène retourne plus rapidement à son niveau initial que la fréquence cardiaque, la moyenne du pouls d'oxygène régresse rapidement de 17,0 ($\sigma = 3,8$) à 5,7 ($\sigma = 1,3$) puis à 4,4 ($\sigma = 0,9$), cette dernière valeur étant inférieure à la moyenne de référence. Des dix-neuf sujets étudiés, 9 ont au cours de la sixième minute, un pouls d'oxygène plus bas qu'au repos.

Le coefficient de variation atteint le double des valeurs enregistrées au cours de l'effort (plus de 20% au lieu de 10%).

d) *La fréquence respiratoire.* Un seul sujet, G. R. (13), le même du reste qui avait au repos la fréquence la plus basse, rejoint la valeur de référence; les autres conservent des fréquences plus élevées. De 26,2 ($\sigma = 5,1$) la moyenne passe à 20,1 ($\sigma = 5,7$) puis à 17,7 ($\sigma = 4,8$). Le coefficient de variation est important: il passe de 19% à 28%, puis à 17%.

e) *Le volume courant.* Les sujets V. C. G. (2); C. H. (5); P. W. (6) et V. D. L. (8) ont au cours de la sixième minute un volume courant moins élevé qu'au repos, leur fréquence respiratoire restant par contre plus élevée. De 2.577 cc. ($\sigma = 435$), la moyenne passe à 1.233 ($\sigma = 350$) puis à 999 cc. ($\sigma = 226$), ce qui est supérieur à la valeur de repos.

Le coefficient de variation est, une fois de plus, très élevé (17%, puis 28 et 23%).

f) *Le volume-minute.* Produit des deux paramètres précédents, le volume-minute diminue lui aussi de façon plus au moins exponentielle. De 67,6 litres ($\sigma = 13,4$ l) sa valeur moyenne s'établit successivement à 23,4 ($\sigma = 4,8$ l), puis à 16,8 litres ($\sigma = 2,0$ l).

Un seul sujet, V. C. G. (2), ventile au cours de la sixième minute après l'effort un volume d'air inférieur à sa ventilation au repos, cette différence étant due uniquement à la diminution marquée de son volume-courant. Le coefficient de variation est moins élevé que celui des deux paramètres précédents (20%, puis 21% et 12%).

La remarque formulée concernant la fréquence cardiaque, s'impose également ici: le sujet V. d. B. R. (4) atteint au maximum de l'effort un volume-minute de 132,4 litres qui n'est plus que de 18,4 litres au cours de la sixième minute de récupération, alors que chez D. S. J. (15), ces chiffres sont respectivement 90,9 litres et 20,5 litres.

g) *L'équivalent respiratoire.* Alors qu'au début de l'effort, l'équivalent respiratoire est abaissé, il s'accroît considérablement dès que l'épreuve se termine. La moyenne des valeurs s'élève successivement de 30,0 ($\sigma = 4,8$ à 41,3 ($\sigma = 9,8$) et à 43,0 ($\sigma = 9,3$). Cette dernière valeur est légèrement supérieure à la moyenne au repos comme l'on pouvait du reste s'y attendre, les moyennes des volumes-minute et de la consommation d'oxygène restant elles aussi au-dessus des valeurs de référence. La dispersion des valeurs individuelles est très grande et le coefficient de variation atteint, avec 16, 24 et 22%, des valeurs plus importantes que pendant l'effort et qui dépassent même l'importante variabilité (19%) des chiffres au repos.

Discussion

1. **Examens préliminaires.** Il ressort du tableau 1. que tous les sujets examinés ont une capacité vitale égale ou supérieure à la norme proposée. Il n'en est pas de même pour la V. E. M. S. et le rapport de Tiffeneau. Peut-être une distinction peut-elle être établie entre les sujets chez qui la V. E. M. S. atteint une valeur absolue supra-normale, et ceux chez lesquels ce chiffre est égal ou inférieur à la normale. Chez les premiers (C. V. très élevée, V. E. M. S. supra-normale) le rapport de Tiffeneau inférieur à la norme pourrait être dû à l'impossibilité d'expirer en une seconde un volume d'air très élevé (Sujets V. d. B. R. (4) et D. N. R. (16)).

Chez les autres (Sujets C. H. (5), V. C. L. (9), D. C. R. (17), V. V. A. (19)), une investigation plus poussée de la fonction pulmonaire paraît s'imposer.

Cependant Tiffeneau lui-même (1957) considère que la perturbation ventilatoire est minime tant que la V. E. M. S. est supérieur à 2.000 cc.

2. L'épreuve d'effort. Nonobstant la délimitation rigoureuse du groupe étudié, la grande dispersion des valeurs obtenues est frappante. Plusieurs considérations importantes s'imposent d'emblée.

a) *Valeurs de référence.* Nos chiffres de «base» ne se réfèrent pas à l'état de repos.

Le sujet est assis sur l'ergomètre; il ne produit pas un effort, mais il n'est pas dans une situation de «repos complet».

La consommation d'oxygène de 320 cc. ($\sigma = 60$) est comparable aux chiffres de HOLLMANN (1963), de MELLEROWICZ (1962), de HEINECKER (1960), de KIRCHHOFF (1956) et de REINDELL (1956) qui utilisent une technique spiro-ergométrique analogue.

La fréquence cardiaque varie dans notre série entre 56 et 85 avec une moyenne de 70 ce qui est supérieur aux chiffres de REINDELL (1960), mais comparable à ceux de HEINECKER (1960) et de HOLLMANN (1961).

Le pouls d'oxygène $\left(\frac{\text{consommation d'O}_2 \text{ cc/min.}}{\text{fréquence cardiaque}} \right)$ de 4,6 est comparable aux données des auteurs précédemment cités. Les paramètres ventilatoires par contre, donnent des valeurs qui s'écartent nettement de celles mentionnées dans la littérature. C'est ainsi que la moyenne de 13,1 litres pour le volume-minute au repos est de loin supérieure aux données fournies par HOLLMANN (1963), HEINECKER (1960) et KIRCHHOFF (1956) qui trouvent dans l'ensemble, des valeurs comprises entre 7 et 9 litres.

Il en résulte que nos valeurs pour l'équivalent respiratoire sont, elles aussi, nettement supérieures. Le coefficient de variation de ce paramètre n'atteint toutefois que 19%, ce qui est inférieur aux données de LEWILLIE (1960).

Dans l'ensemble nous avons l'impression que la circulation et plus particulièrement la fréquence cardiaque, s'adaptent plus vite que la ventilation aux conditions de l'expérience. La fréquence respiratoire met le plus longtemps à s'établir à un niveau fixe, ce qui est probablement dû à des influences psychiques. Les cinq minutes accordées ne sont donc pas toujours suffisantes pour que le sujet s'accoutume à l'appareillage. Il est évidemment possible d'enregistrer les chiffres de référence dans un état de repos plus complet, le sujet restant étendu suffisamment longtemps dans le calme, comme l'ont fait MILLAHN et SOLLMANN (1962) pour obtenir une fréquence cardiaque de base.

Nous croyons toutefois qu'en agissant de la sorte il serait malaisé de juger au cours de l'épreuve, de la part de ce qui revient à l'adaptation à l'effort et de celle due à la non-accoutumance à l'appareillage. Ces considérations soulignent les difficultés d'obtenir des valeurs de repos valables.

Même à l'état de repos absolu, la température et le degré d'humidité de l'air ambiant influencent la fréquence cardiaque (TROQUET et PETIT 1961) et la fréquence respiratoire (MILIC-EMILI et CAJANI 1957) dans une mesure difficile à établir. Ces facteurs conservent d'ailleurs toute leur importance au cours de l'effort (COTES 1963).

b) Effort. α) paramètres circulatoires. La fréquence cardiaque, la consommation d'oxygène et le pouls d'oxygène s'accroissent de façon à peu près linéaire. Les chiffres indiqués sont comparables à ceux de REINDELL et al. (1956—1960) et de HOLLMANN (1959) mais sont supérieurs, quant aux deux premiers paramètres, à ceux de WAHLUND (1948) et de KIRCHHOFF (1956).

La fréquence cardiaque de 170 qui constitue d'après SJÖSTRAND (1947) et BINK (1959) un bon critère pour juger de l'aptitude à l'effort, est atteinte à des paliers qui diffèrent d'un individu à l'autre. La détermination de ce seuil nécessite un effort intense. Ce n'est qu'aux paliers élevés que l'on peut ainsi départager les sujets examinés.

β) Paramètres ventilatoires. La fréquence respiratoire augmente également dans des proportions considérables. A la fréquence de 30, que WAHLUND considère comme un critère utilisable pour juger de l'aptitude physique, se rattachent les mêmes considérations que pour la fréquence cardiaque.

L'augmentation linéaire par rapport à l'effort — et ceci s'applique également aux paramètres suivants — n'est pas aussi évidente que pour les paramètres qui ont trait à la circulation.

La corrélation entre la fréquence respiratoire et l'effort accompli nous apparaît ainsi moins nette qu'elle ne l'est pour RAMANATHAN (1964).

Comme l'on pouvait s'y attendre, le volume-courant s'accroît relativement davantage chez les sujets dont la fréquence respiratoire s'élève le moins. LEWILLIE (1960) admet que l'augmentation du volume-minute s'effectue à partir de 200 Watts uniquement par augmentation de la fréquence respiratoire, ce qui ne concorde pas avec nos résultats.

Au maximum de l'épreuve, le volume-courant atteint une valeur proche de 50% de la capacité vitale comme l'avait déjà signalé I. ÅSTRAND (1958).

Le volume-minute s'accroît de façon presque linéaire jusqu'au palier de 200 Watts, s'élève plus rapidement ensuite. Les valeurs obtenues sont comparables à celles mentionnées par KNIPPING (1955), supérieures à celles de WAHLUND (1948), de HEINECKER (1960) et de HOLLMANN (1963),

légèrement supérieures à celles de KIRCHHOFF (1956) et inférieures à celles de ROSSIER (1962) et de REINDELL (1960).

L'équivalent respiratoire demeure remarquablement constant jusqu'au palier de 200 Watts et augmente par la suite. Dans la littérature, l'équivalent respiratoire atteint pour les efforts analogues des valeurs comprises entre 17 à 23.

Ceci concorde avec nos résultats. LANDEN (1953) et HOLLMANN (1959) observent également une nette augmentation de l'équivalent respiratoire pour des efforts dépassant 150 Watts.

L'hyperventilation provoquant l'augmentation de l'équivalent respiratoire en fin d'épreuve, n'est due, pour DE COSTER (1964), ni à l'acidose métabolique, ni à une baisse de la saturation oxyhémoglobinée, ni à une diminution de la diffusion gazeuse. Comme l'absorption du CO₂ du circuit s'est toujours effectuée de façon parfaite (contrôle continu par absorption infra-rouge), nous ne pouvons admettre, comme le suppose ROSSIER (1962), que l'accumulation de CO₂ serait la cause de l'hyperventilation observée.

Il est possible que le point A de la Fig. 6 correspond au P. O. W. (Punkt des optimalen Wirkungsgrades der Atmung) de HOLLMANN et qu'il représente le niveau de l'effort pour lequel, quelle que soit la durée de cet effort, la dette d'oxygène n'augmente pas. C'est ce que cet auteur appella la «O₂-Dauerleistungsgrenze» qui semble correspondre à la «puissance maximale supportée» des auteurs français.

γ) Considérations générales concernant la phase de l'effort. De l'ensemble des observations se dégage clairement qu'au cours de l'effort, les paramètres ventilatoires varient dans une mesure plus importante que les paramètres circulatoires.

Il est parfaitement possible que des paliers de trois minutes ne permettent pas l'obtention d'un état stable de la ventilation (SADOUL 1957, AUGÉ 1961) encore que les auteurs allemands (REINDELL 1956, HOLLMANN 1963) ne partagent pas ce point de vue. Les renseignements apportés par la fréquence respiratoire, le volume-courant, le volume-minute et l'équivalent respiratoire doivent donc être interprétés avec circonspection. Il serait cependant vain, croyons-nous, de s'acharner à obtenir un steady-state parfait puisque même la consommation d'oxygène peut encore montrer d'importantes oscillations au cours d'efforts moyens (640 kgm/min. pendant 10 minutes: ROYCE 1962). Seules les variations importantes ($> 2 \sigma$) des paramètres de la période de l'effort permettent des conclusions nettes quant à la condition d'un individu donné; ces données sont utilement complétées par l'étude de la phase de récupération. Relevons également que des valeurs de référence au premier abord moins favorables, ne permettent évidemment pas de conclusions hâtives: c'est

ainsi que V. D. W. (1) qui présente avant l'épreuve une fréquence cardiaque de 80, n'atteint au faite de l'épreuve que 157.

c) *La récupération.* Les paramètres étudiés après l'effort reviennent à la normale suivant une courbe exponentielle (BERG 1947; LEHMANN 1953; MÜLLER 1957 etc.).

a) La consommation d'oxygène fut déterminée au cours des première, troisième et sixième minutes après l'effort.

b) La fréquence cardiaque est déterminée à partir du nombre total de pulsations cardiaques au cours de chacune des minutes envisagées.

De cette façon nous pouvons obtenir une valeur plus correcte pour le pouls d'oxygène que ne l'aurait fournie le quotient de la consommation d'oxygène par la fréquence cardiaque mesurée seulement pendant dix ou quinze secondes à la fin de chaque minute. Cette précaution ne s'impose pas pendant l'effort où la fréquence cardiaque demeure relativement stable à la fin de chaque palier.

c) La fréquence respiratoire est déterminée, tout comme pendant l'effort, à partir du tracé spirométrique.

d) Le volume-courant est la moyenne des volumes-courants de chacune des minutes étudiées. En fait, en multipliant cette moyenne par la fréquence respiratoire pour connaître le volume-minute, nous introduisons une certaine erreur que toutefois nous pouvons négliger dans le cadre de l'étude envisagée.

Le volume-courant diminue en effet plus vite au cours des premières secondes qu'au cours des dernières, puisqu'il décroît de façon exponentielle. Pour connaître aisément la valeur réelle de la moyenne envisagée, il faut exprimer les résultats dans un système de coordonnées semi-logarithmiques.

e) Le volume-minute est calculé en tenant compte des restrictions déjà envisagées, et il en est de même pour l'équivalent respiratoire.

Les graphiques ainsi réalisés ne nous renseignent qu'incomplètement sur la phase de la récupération. Les résultats démontrent cependant que :

— 1^o) le retour aux valeurs de repos s'effectue plus rapidement au cours de la première minute après l'effort,

— 2^o) en outre, les écarts d'un sujet à l'autre sont très importants et en tout cas beaucoup plus grands que pendant l'effort,

— 3^o) enfin ; la fréquence cardiaque paraît régresser plus lentement que la ventilation, ce qui rejoint les conclusions de G. MILIC-EMILI (1959).

d) *Comparaison entre l'adaptation circulatoire et ventilatoire au cours de l'épreuve d'effort.* Il nous paraît nécessaire de souligner que la circulation et la ventilation ne réagissent pas toujours de façon parallèle ni similaire au cours de l'épreuve. L'étude de l'adaptation de l'une comme de l'autre de ces fonctions, peut donc fournir des indications sur la condi-

tion d'un sujet donné. C'est ainsi que le sujet V.C.G. (2) présente, à l'effort de 300 Watts, un pouls d'oxygène de 17,8 seulement, alors que sa ventilation reste relativement économique, l'équivalent respiratoire ne s'élevant qu'à 28,0. L'inverse est vrai également: le sujet V.d.B.R. (4), avec une fréquence cardiaque de 155 et un pouls d'oxygène de 26,6 n'a certes pas encore épuisé ses ressources circulatoires, alors que son équivalent respiratoire atteint 32,0. Le même manque de parallélisme apparaît à l'étude des fréquences cardiaques et respiratoires: le sujet V.C.N. 9) présente au palier de 300 Watts, une fréquence cardiaque de 170 et respiratoire de 48, ce qui constitue, si l'on compare ces valeurs à nos moyennes, un chiffre tout à fait normal pour le premier de ces paramètres, mais nettement trop élevé pour le second.

Conclusion

Cette étude n'a certes pas la prétention de donner un aperçu complet des moyens d'étude utilisés pour juger de l'adaptation à l'effort physique. C'est ainsi que les paramètres qui rendent compte de l'acidose métabolique, qu'il s'agisse d'acide lactique (DE COSTER 1964), ou d'acide pyruvique (HУСКАБЕЕ 1958) ont volontairement été passés sous silence.

Telle quelle, cette étude permet quelques conclusions pertinentes:

— 1^o) L'obtention d'un état de repos auquel on peut se référer est difficile et arbitraire; tout aussi difficile est l'obtention d'un état stable au cours de l'effort lui-même.

— 2^o) Les valeurs obtenues pour les paramètres circulatoires (consommation d'oxygène, fréquence cardiaque, pouls d'oxygène) accusent une dispersion nettement moins élevée que ce n'est le cas pour les paramètres ventilatoires.

— 3^o) La dispersion des résultats s'accroît nettement au cours de la récupération; ceci permet une individualisation plus poussée des sujets examinés et complète ainsi les données apportées par l'étude de l'effort.

— 4^o) L'hyperventilation observée en fin d'épreuve reste d'explication malaisée.

— 5^o) Les différences concernant l'adaptation circulatoire ou ventilatoire à l'effort — chacune de ces fonctions pouvant constituer le point faible d'un individu donné — et les divergences enregistrées au cours de la récupération, paraissent justifier l'emploi d'une technique plus complexe que les épreuves s'attachant à l'étude d'un seul paramètre isolé (VUYLSTEEK 1963; DENOLIN 1963).

L'épreuve d'effort ainsi conçue, n'a cependant pas une valeur absolue et il convient de l'interpréter dans le contexte clinique (antécédents, examens cliniques et de laboratoire, radioscopie, électrocardiogramme) qui acquiert bien sûr encore plus de valeur dans les cas pathologiques.

Remerciements. Nous tenons à exprimer notre gratitude au Professeur LEUSEN (service de Physiologie de l'Université de Gand) qui a bien voulu lire le texte et nous faire plusieurs suggestions particulièrement utiles.

Nous remercions également le Dr. MARLIER qui nous a adressé la plupart des sujets examinés.

Résumé

Un groupe homogène de 19 sportifs entraînés est soumis à un exercice de 300 Watts atteints par paliers successifs de trois minutes. L'adaptation de la consommation d'oxygène, de la fréquence cardiaque, du pouls d'oxygène, du volume courant, de la fréquence respiratoire, du volume minute et de l'équivalent respiratoire est étudiée au cours de la dernière minute de chaque palier et pendant les six premières minutes de la récupération. Des résultats il ressort les difficultés auxquelles on se heurte pour obtenir un état stable tant au repos qu'au cours de l'effort; la dispersion des chiffres obtenus est nettement plus grande pour les paramètres circulatoires que pour les paramètres ventilatoires et augmente au cours de la récupération; l'équivalent respiratoire augmente de façon marquée en fin d'épreuve. Il apparaît que seule une technique qui nous renseigne simultanément sur les principaux paramètres des fonctions cardiovasculaire et respiratoire, peut fournir des données précises sur l'adaptation cardio-pulmonaire à l'effort et au cours de la récupération.

Bibliographie

- ÅSTRAND, I.: *Acta med. scand.* **162**, 2 (1958).
 ÅSTRAND, P. O.: *Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age.* Kopenhagen: Munksgaard 1952.
 AUGÉ, G.: *Contribution à l'étude physio-pathologique de l'effort à propos des épreuves fonctionnelles respiratoires.* Marseille: Thèse 1961.
 BERG, W. E.: *Amer. J. Phys.* **149**, 597 (1947).
 BINK, B.: *Het lichamelijk prestatievermogen van cardiologische patiënten.* Leiden: Thèse 1959.
 COTES, J. E.: *Brit. med. Bull.* **19**, 31 (1963).
 DE COSTER, A., R. MESSIN et H. DENOLIN: *Rev. Inst. Hyg. Mines* **19**, 5 (1964).
 DENOLIN, H., R. MESSIN et A. DE COSTER: *Rev. Sém. belges réadaptation* **5**, 1 (1963).
 HEINECKER, R., K. E. ZIPF u. H. W. LÖSCH: *Z. Kreis.-Forsch.* **49**, 913 (1960).
 HERTZ, C. W.: *Dtsch. Arch. klin. Med.* **205**, 602 (1952).
 HOLLMANN, W.: *Arbeits- und Trainingseinfluß auf Kreislauf und Atmung.* Darmstadt: Steinkopff 1959.
 — *Höchst- und Dauerleistungsfähigkeit des Sportlers.* München: Barth 1963.
 HUCKABEE, W. E.: *J. clin. Invest.* **37**, 244 (1958).
 KIRCHHOFF, H. W., H. REINDELL u. A. GEBAUER: *Dtsch. Arch. klin. Med.* **203**, 423 (1956).
 KNIPPING, H. W., and A. MONCRIEFF: *Quart. J. Med.* **1**, 17 (1932).
 — W. BOLT, H. VENEATH u. H. VALENTIN: *Untersuchung und Beurteilung des Herzkranken.* Stuttgart: Enke 1955.
 KROON, T. A. J.: *Onderzoekingen over het verrichten van arbeid.* Utrecht: Thèse 1959.
 LANDEN, H. C.: *Beitr. Klin. Tuberk.* **108**, 406 (1953).

- LEHMANN, G.: *Praktische Arbeitsphysiologie*. Stuttgart: Thieme 1953.
- LEWILLIE, L.: *Trav. Soc. Med. Belge d'Éduc. Phys. et des Sports* **13**, 1 (1960).
- MELLEROWICZ, H.: *Ergometrie*. München-Berlin: Urban & Schwarzenberg 1962.
- MILIC-EMILI, G.: *Int. Z. angew. Physiol.* **17**, 455 (1959).
- and F. CAJANI: *Bull. Soc. Ital. Biol.* **33**, 825 (1957).
- MILLAHN, H. P., u. H. SOLLMANN: *Int. Z. angew. Physiol.* **19**, 143 (1962).
- MÜLLER, E. A.: *Int. Z. angew. Physiol.* **16**, 35 (1957).
- POORTMANS, J., E. VAN KERCHOVE u. P. JAUMAIN: *Int. Z. angew. Physiol.* **19**, 337 (1962).
- RAMANATHAN, N. L.: *J. appl. Physiol.* **19**, 497 (1964).
- REINDELL, H., u. H. W. KIRCHHOFF: *Dtsch. med. Wschr.* **15**, 592 (1956).
- — K. MUSSCHOFF u. H. KLEPZIG: *Verh. dtsch. Ges. Kreisf.-Forsch.*, 22. Tagung, Darmstadt **108**, 113 (1956).
- H. KLEPZIG, H. STEIM, K. MUSSCHOFF, H. ROSKAMM u. E. SCHIDGE: *Herz-Kreislaufkrankheiten und Sport*. München: Barth 1960.
- ROYCE, J.: *Int. Z. angew. Physiol.* **19**, 218 (1962).
- ROSSIER, P. H., A. BÜHLMANN et K. WIESINGER: *Physiologie et Physiopathologie de la respiration*. Neuchâtel: Delachaux et Nestlé 1962.
- SADOUL, P., M. L. McILHANY, N. AUBERTIN, et D. DURAND: *Rev. méd. Nancy* **82**, 773 (1957).
- et M. DUSAPIN: *L'expertise de la silicose pulmonaire*. Nancy: Humblot 1959.
- SJÖSTRAND, T.: *Acta med. scand.* **687** (Suppl. 196) (1947).
- TIFFENEAU, R.: *Examen pulmonaire de l'asthmatique*. Paris: Masson 1957.
- TROQUET, J., et J. M. PETIT: *Rev. Ed. Phys.* **1**, 9 (1961).
- VUYLSTEEK, K.: *Brux.-med.* **43**, 641 (1963).
- WAHLUND, H.: *Acta med. scand.* **132**, (Suppl. 215) (1948).

Prof. Dr. K. VUYLSTEEK, 23. Prof.-J.-Kluyskensstr. — Gent,
Laboratorium voor Gezondheidsleer en Sociale Geneeskunde Rijksuniversiteit