

Experiments on Positive and Negative Work

By ERLING ASMUSSEN, Copenhagen

It is common knowledge that it is easier to walk downhill or down stairs than upwards, likewise that it is easier to lower a weight through a certain distance than to lift it the same vertical distance. In every day's life both types of work exist and are equally common, but whereas a vast amount of research has been done in determining the cost of positive work, very few experiments have been done in order to evaluate the cost of performing negative work, or of determining the ratio (cost of positive work/cost of negative work). The main investigations on the cost of negative work are those of *Chauveau* (1896), *Zuntz*, *Loewi*, *Müller* and *Caspari* (1906) and *Abramson* (1929). The last mentioned calculated the values from *Johansson's* experiments from 1901—02. It was found by these authors, that the cost of positive work was about 2 times as great as the cost of negative work. More recently investigations on the cost of carrying loads up and down stairs were made by *Orsini & Passmore* (1951) and on the ratio (positive work/negative work) by *A. V. Hill* and co-workers (1951). The latter found that the ratio increased with speed of movements up to a value of 6 : 1. These results thus confirm the general feeling, that it is easier to walk downhill than uphill. There may be many who would consider this fact self-evident: in going uphill you are really performing work in lifting your body and producing static energy. In going downhill you are not doing any actual work, and your body is losing static energy. Everybody knows, that a car uses petrol in climbing a hill, but that it can roll downhill without any expenditure of fuel. But this is of course a false analogy. From a purely physical point of view the problem may be looked upon like this: Consider a body on inclined plane, and let us assume that it can move on this plane without any frictional resistance. In order to keep it quiet on the incline, a certain force with

direction opposite to that of the force with which gravitation seeks to move the body downhill must be applied. Let us assume that a small push is applied to the body in the direction of the gravitational pull: This will set the body in movement, and it will move downhill at constant velocity until an opposite force stops it. Let us again consider the body in a quiescent state on the incline, and this time apply the small push in the direction upwards: This again will set the body in movement, and it will move upwards on the incline at constant velocity.

These examples show, that *the force that is necessary to keep a body in steady movement, at constant velocity, is the same whether the movement goes upward or downward.*

In movements of the human body — upwards or downwards — the force opposing gravity is muscular tension, and in consequence of the preceding, one must conclude that the muscular tension necessary to keep the body in movement at constant velocity must be the same, whether the body moves uphill or downhill. Nevertheless it is much less fatiguing to produce this muscular tension when the work is performed as negative work than when the work is positive. As a measure of the cost of energy in producing the muscular tension connected with positive or negative work the extra oxygen uptake can be used. In the present experiments the O_2 -uptake was determined, after a steady state of work had been reached, by the *Douglas-bag* method.

First, a series of experiments were made in which the cost of walking on a motor-driven treadmill at different angles of incline were measured. It was found that at all angles it is far the cheapest to go downhill — quite in accordance with the older findings and with practical experience (fig. 1). The exact ratio (energy cost of uphill/energy cost of downhill walking)

could, however, not be determined from these experiments for two reasons: First, the curves representing the relation between rate of work and O_2 -uptake are not straight lines (see fig. 1) and second, the net cost of lifting or lowering the body cannot be computed, because the cost of the "extra work" connected with maintaining of posture, accelerating and decelerating the limbs, overcoming friction etc. is not known. This latter could not be

In order to obtain a better form for positive and negative work, than grade walking, uphill or downhill, on a motordriven treadmill was chosen. During the downhill riding, the leg movements were reversed so that the muscle lengths and tensions were exactly the same as at corresponding times of movements in the uphill bicycling.

Bicycling on the treadmill has certain advantages as a method of doing muscular

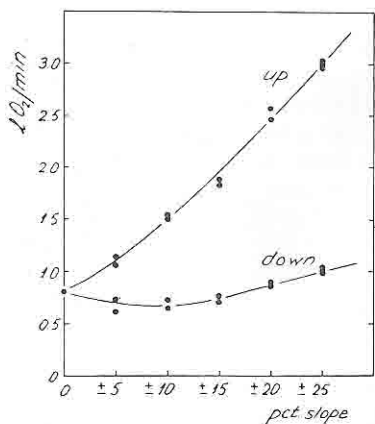


Fig. 1. O_2 -uptake during walking uphill or downhill on a motor-driven treadmill set at different angles of incline.

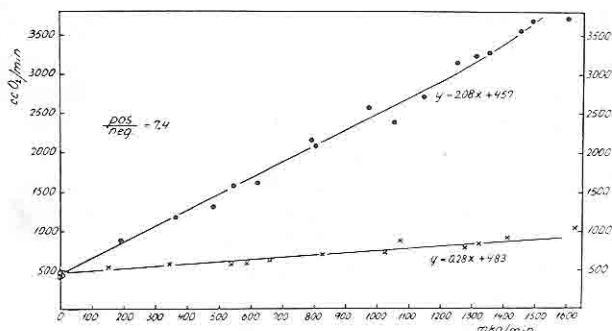


Fig. 2. O_2 -uptake during bicycling, uphill or downhill, on the treadmill. The work—positive or negative—is given in mkg per min. The calculated equations for the straight parts of the regression lines are given in the figure.

equal to the cost of walking on a horizontal level, because walking downhill at 5—10 per cent was cheaper than horizontal walking.

The reason for these irregularities is probably that horizontal walking as well as grade walking at not too steep a slope contains elements of both positive and negative work: The body's center of gravity is moving both upwards and downwards while walking. This could be shown by registering the movements of the body's center of gravity in the vertical plane. It was found that with the exception of the very steepest grades the center of gravity moved both upwards and downwards during walking, i. e. one is doing both positive and negative work.

exercises: The work of lifting or lowering the body can be exactly measured as the product of (body weight + bicycle weight) \times vertical distance lifted or lowered per minute. This latter factor can be varied, either by varying the speed of the treadmill or by changing its slope. The cost of the "extra work" i. e. sitting on the bicycle, balancing etc. can be determined by extrapolation to work zero, and it can be checked by measuring the oxygen uptake when the slope is set so, that the subject does no work of lifting or lowering. Further, the work alone in overcoming friction of the machine can be determined by finding the slope, where friction counterbalances the pull of gravity.

Also the conditions of the working

muscles can be varied within wide limits: velocity of shortening or lengthening by varying the rate of pedalling, or by varying the length of the pedals. The length of shortening (or lengthening) can be varied by varying the length of the pedals, and their middle length by varying the height of the saddle.

The energy cost of the work was measured as before by the Douglas bag method in the steady state of work.

The results from a series of experiments on a subject riding at 8,6 km/hr., with 135 half pedal revolutions per minute are shown in fig. 2. It will be seen that in positive work the O_2 -intake increases linearly up to values of about 3 liters per minute, after which the curve slopes slightly upwards. During negative work the oxygen intake also increases linearly with increasing work intensity, but with a much smaller slope.

Both curves have the same point of intersection with vertical axis, and this value for the O_2 uptake per min. at work zero was found in this case to be identical with the cost of sitting and balancing on the free-wheeling bicycle. The ratio (cost of positive/cost of negative work) must be equal to the ratio between the slopes of the two lines. The equations for these two lines were computed and are written on fig. 2. The ratio (pos.: neg. work) was in this case 7,4 : 1.

In corresponding experiments it was found that under various conditions of lengthening or shortening of the active muscles the ratio (cost of positive work/cost of negative work) varied between about 3 and 9. Remembering that the force necessary to keep a body in movement a constant speed is the same, whether the movement goes upwards or downwards, it can be concluded, that the muscles must be able to produce tension 3 to 9 times cheaper when they are working excentrically (doing negative work) than when they work concentrically (doing positive work). For the plausible explanation of this fact we have to turn to muscle physiology.

We have an expression for the muscle's

capacity for producing tension under different conditions in the length-tension diagramme. Length-tension diagrammes for whole muscles have been recorded among others by *Blix* (1895) and *O. Beck* (1923). On isolated fibers it was studied by *Asmussen* (1936) and — very extensively — by *Buchthal et al.* in the last 10 to 15 years e.g. *Buchthal & Kaiser* (1951). The general form of the diagramme is the same for isolated fibers as for whole muscles.

It was noticed already by *Blix*, that the tension of a muscle increases when it is stretched during an isometric tetanus to values well above the curve of the isometric maxima. This finding was confirmed by later investigators, both on whole muscles and on isolated fibers or bundles of fibers. *Blix* further observed, that when a muscle was allowed to shorten during a tetanus, its tension fell far below the tension of the isometric maxima.

If we now consider the muscles in the organism, still remembering that total tension necessary for positive and negative work must be equal, it seems obvious, that if the active muscle fibers are *shortening* during the contraction an increasing number of active fibers must be necessary in order to maintain the tension of the whole muscle constant, whereas if the muscles are undergoing a *lengthening* during their contraction, the tension of each active fiber will be increasing, and in order to maintain a constant total tension of the whole muscle, the number of active muscle fibers must be decreasing during the movement.

A relative expression for the number of active muscle fibers during a muscle contraction can be obtained by integration of the electrical potentials set up by the motor units during their activity. Dr. Steen Knudsen of the Neurophysiological Institute in Copenhagen, devised a filter by means of which this could be accomplished. Skin electrodes were placed on the abdomen and on the quadriceps, and the electromyograms obtained during a slow standing knee bending (negative work) and stretching (positive work) were recorded,

directly, and in the integrated form. The recordings showed that the areas under the integrated electro-myograms were larger during positive work, indicating that more muscle fibers have been active during the concentric than during the eccentric contraction.

In the previously reported experiments, the velocity of shortening of the muscles was kept moderately low and was not varied systematically. In a new series of experiments, the velocity of shortening was varied by letting the subject perform from the lowest possible speed to the highest attainable. The results were treated in the same way as described before. It was found that the ratio (positive work/negative work) increased with increasing velocity of movements, at first slowly, later rapidly. At the highest speed obtainable (120 pedal revolutions per min) it reached a value of 125 : 1.

This very high ratio was mainly due to the very small slope of the curve representing the negative work. As a matter of fact, there was hardly any difference between the O_2 -consumptions at 300 mkg/min and at 1400 mkg/min negative work.

If as usual the point of intersection with the vertical axis is taken to represent the cost of extra work plus the resting O_2 -uptake, the conclusion to be drawn from the experiments is, that at this velocity the energy needed to provide the braking is zero, whether the braking force needed is small or great.

The astonishing effect of speed on the cost of negative work, the fact that it — as it seems — approaches zero and is independent of intensity of work over most of the range investigated, need careful consideration. As it is constant over so wide a range, the assumption that the muscular tension needed for the braking might be supplied by the passive tension of the muscles, or that it is set up by inertial forces can be ruled out. Such forces might well be able to supply the braking force at one intensity of work, but not over the whole range of intensities studied. The high O_2 -uptake at work rate zero may suggest that some energy requiring pro-

cesses occurs at low rates of work, which gradually disappears as the load grows heavier, thus leaving the impression that the total cost of the negative work becomes constant. It is, however, rather hard to imagine such processes, and for the time being it seems most appropriate to believe that the results depict what is actually happening in the muscles. In that case the experiments have shown, that beyond a certain speed the muscles can produce tension during eccentric contractions at no extra cost.

A comparison with the myothermic experiments of *Abbott, Aubert & Hill* (1951) and *Abbott & Aubert* (1951) from their recent experiments, show that a similar effect may be obtained in isolated muscles that are stretched during tetanic contraction. Under such condition it seems that the chemical processes in the muscles will be reversed so that the work done on the muscles when they are stretched during contraction completely disappears.

There is in other words cases in which muscles can perform negative work without extra energy breakdown, but it must be admitted that there still exists certain difficulties in directly comparing the experiments of *Abbott* and coworkers with the present experiments.

In concluding it may be stated, that the present experiments have shown, that at low and moderate velocities of shortening, the human muscles produce negative work at a cost that is 3 to 9 times cheaper than the cost of positive work. This is — partly or wholly — explained by the behaviour of stimulated muscles in shortening or lengthening, as can be demonstrated by the length-tension diagramme. At high velocities of shortening, the cost of negative work approaches zero. The explanation for this may also be sought for in the physiology of isolated muscles, notably in the experiments from *Hill's* school, although too far reaching conclusions at the present time seem unwarranted.

The practical implications — that negative work must be preferred to positive work in all cases where it is feasible — are self-evident.

Examens physiologiques de la capacité de travail physique chez les enfants et les adultes

Par P.-O. ÅSTRAND, Stockholm

En avril 1952, P.-O. Åstrand a soutenu à l'Institut Central de Gymnastique une thèse de doctorat en médecine — la première à cet institut. Elle présente un grand intérêt et l'auteur donne ici un résumé des résultats obtenus.

Au cours d'un travail dur et prolongé, la capacité d'absorption d'oxygène d'un individu détermine dans une large mesure sa capacité de travail. Pour cette raison, il est d'un intérêt capital de voir comment cette capacité varie avec l'âge et le sexe. Pour une telle recherche, il faut choisir des formes de travail qui engagent de grands groupes de muscles. Nous avons choisi la course sur "bande roulante" et le cyclisme sur "bicyclette ergométrique". Au bout de cinq minutes environ de travail, la ventilation et l'absorption d'oxygène ont été mesurées par la méthode du "sac de Douglas". Le pouls et la fréquence de la respiration ont été calculés et une prise de sang a été faite en vue de l'analyse de la concentration de l'acide lactique. On a en outre déterminé à l'état de repos la capacité vitale ainsi que la quantité d'hémoglobine et le volume du sang. Chaque sujet examiné a exécuté une série d'épreuves réparties sur 3—4 semaines. L'intensité de travail a augmenté progressivement. Si l'absorption d'oxygène a fini par être constante malgré l'augmentation de l'intensité, la valeur obtenue a été considérée comme la capacité "aérobie" du sujet pour cette forme de travail. Dans bien des cas ce niveau n'a pas été atteint, mais la sensation subjective d'effort et avant tout les mesures de l'acide lactique ont rendu possible la détermination de la capacité par rapport à l'intensité.

En tout 112 femmes (4—25 ans) et 115 hommes (4—33 ans) ont servi de sujets dans ces expériences. Les groupes d'âge allant de 4 à 18 ans ont été représentés par des élèves de différentes écoles de Stockholm, au-dessus de cet âge ils ont

été pris parmi les étudiants de l'Institut Central de Gymnastique (G. C. I.). Tandis que les plus jeunes représentent au point de vue physique la jeunesse "normale", les plus âgés représentent une élite. La condition fondamentale d'un examen tel que le nôtre est en effet que les sujets aient un assez bon entraînement physique. Pour trouver des personnes répondant à cette exigence il faut malheureusement s'adresser ailleurs qu'au "grand public".

Résultats: Le tableau 1 indique les valeurs moyennes obtenues pour les différents groupes d'âge en ce qui concerne la taille, le poids, la quantité d'hémoglobine, ainsi que la fréquence max. du pouls, la concentration d'acide lactique du sang, la ventilation et l'absorption d'oxygène.

Fréquence max. du pouls: pour les groupes de moins de 20 ans elle varie entre 202 et 211; au-dessus de 20 ans, la valeur moyenne est de 194 pour les hommes et de 198 pour les femmes, donc très voisine pour les deux sexes. Rien n'indique que ces hautes valeurs doivent être considérées comme un symptôme de surmenage.

L'acide lactique du sang est formé par le glycogène du sang lorsque la combustion ne parvient pas à couvrir les besoins de l'énergie (travail anaérobie). Sa concentration par rapport au travail maximum donne entre autre une idée de la capacité du sujet pour un travail court et intense. Avant la puberté, les garçons et les filles atteignent les mêmes valeurs, mais entre 12 et 18 ans on constate une tendance vers une augmentation des valeurs chez les filles. Les chiffres moyens augmentent de 60 mg. % environ pour les plus jeunes à 110 mg. % env. pour les adultes. Les résultats montrent que les filles ont la même faculté que les garçons d'utiliser leurs forces physiques, qu'elles ont la même faculté d'aller jusqu'à l'épuisement total de leurs forces; mais l'intensité de travail est pour les adultes d'un autre ordre de grandeur.

TABLEAU I. Moyenne des mesures faites au cours de l'examen de la capacité de travail chez les enfants et les adultes. Les tests ont été la course, ainsi que le cyclisme pour les groupes les plus âgés. Les chiffres entre parenthèse indiquent le nombre des sujets ayant pris part aux expériences.

	Groupes d'âge							♂ 16-18	♀ 16-17	♂ 20-23	♀ 20-25
	4-6	7-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-19				
Nombre de sujets	♂	10	12	13	19	10	9				
	♀	7	14	13	13	11	10				
Taille, cm.	♂	113,5	135,0	145,4	154,4	171,8	176,9				
	♀	111,6	132,0	140,6	158,5	164,9	167,7				
Poids, kg.	♂	20,8	30,7	36,5	43,6	59,5	64,1				
	♀	18,4	27,2	32,5	46,7	56,0	57,3				
Fréquence max. du pouls	♂	203	208	211	205	203	202				
	♀	204	211	209	207	202	206				
Ventilation max. des poumons L./min. (B. T. P. S.)	♂	39,8	61,8	70,5	75,2	112,9	110,3				
	♀	33,9	57,3	61,1	79,9	87,9	93,8				
Absorption max. d'oxygène L./min. (S. T. P. D.)	♂	1,01	1,75	2,04	2,46	3,53	3,68				
	♀	0,88	1,50	1,70	2,31	2,58	2,71				
Absorption max. d'oxygène ml./min./kg.	♂	49,1	56,9	56,1	56,5	59,5	57,6				
	♀	47,9	55,1	52,4	49,8	46,0	47,2				
Quantité totale d'hémoglobine gr.	♂	—	233 (7)	266 (7)	369 (6)	617 (8)	618 (9)				
	♀	—	201 (9)	266 (9)	367 (12)	435 (10)	451 (6)				
Concentration max. d'acide lactique mg. %	♂	56,3 (6)	82,0 (11)	84,0 (11)	79,1 (12)	90,4 (10)	104,9 (9)				
	♀	60,0 (3)	76,5 (11)	82,2 (10)	97,6 (13)	100,5 (11)	110,2 (10)				

Ventilation des poumons: A l'exception des enfants de 12—13 ans, les garçons atteignent des chiffres max. plus hauts que les filles. Les valeurs moyennes des plus jeunes étaient de 35 à 40 litres/min., les étudiants du G. C. I. atteignaient 122 litres, les étudiantes 92 l. La différence des chiffres obtenus par les garçons et les filles ne commence à être marquante qu'après 13 ou 14 ans. La fréquence de respiration au cours du travail max. était pour les plus jeunes de 65 à 70 par minute, mais ces chiffres diminuent avec l'âge. Ce n'est que pour les adultes que nous avons obtenu des valeurs moyennes différentes pour les sujets masculins et féminins, respectivement 40 et 46. La profondeur de respiration max. (valeur moyenne entre 0,5 et 3,0 l.) comprenait pour tous les groupes environ 50 % de la capacité vitale.

L'absorption max. d'oxygène a augmenté d'env. 1 l./min. pour les garçons de 4 à 6 ans, à 4,1 l. pour les adultes. Les valeurs moyennes des filles, pour les groupes allant jusqu'à 12 ans, était de 15 % env. plus basses que celles des garçons. Pour les groupes plus âgés, la différence était de 25 à 30 %. Si on considère l'absorption d'oxygène en relation avec le poids du sujet, il est intéressant de constater la corrélation existant entre ces deux fonctions, surtout pour les sujets masculins. Il ne faut pas oublier à cet égard que les sujets étaient relativement homogènes, la quantité des tissus musculaires était ici proportionnelle au poids. Il ressort aussi que la différence entre les sujets masculins et féminins n'apparaît qu'au-dessus d'un poids de 40 kg. (= 10—12 ans). La différence d'absorption d'oxygène pour les groupes les plus jeunes peut s'expliquer par le fait que les filles sont plus légères que les garçons. Il est logique de mettre la capacité "aérobie" en relation avec le poids du corps, cette capacité étant justement employée dans une masse de cas pour le déplacement du corps (par ex. dans la course!).

Si on considère l'absorption max. d'O²/kg. (poids du sujet) pour les différents groupes d'âge, on s'aperçoit que pour les garçons de plus de 7 ans la valeur moyenne

est assez constante (56—59 ml. O²). La valeur moyenne pour les filles du G. C. I. (48 ml.) est de 17 % plus basse que celle de leurs collègues masculins. Cette différence, qui apparaît avec l'âge de la puberté, dépend certainement dans une large mesure de la quantité relativement plus grande des tissus adipeux chez les femmes, et peut être considérée comme un caractère sexuel secondaire.

Le fait le plus frappant est l'étroite relation entre l'absorption max. d'O² et la quantité d'hémoglobine, montrant que les valeurs des sujets masculins et féminins suivent dans l'ensemble la même ligne. La corrélation entre l'absorption d'O² et le volume du sang n'est pas aussi grande. Un grand volume du sang est certainement nécessaire pour que le cœur puisse maintenir un grand volume par minute. De deux individus qui atteignent le même volume max. par minute, c'est cependant celui qui a la plus haute valeur d'hémoglobine qui doit atteindre le plus haut chiffre d'absorption d'oxygène (à l'intérieur de certaines limites). Les résultats montrent qu'on peut se faire une idée assez juste des possibilités qu'a une personne de faire un dur travail physique en déterminant tout simplement la quantité totale d'hémoglobine.

Intensité de course, économie de course. La vitesse max. qui pouvait être maintenue pendant 5 min. env. était la même pour les deux sexes jusqu'à l'âge de 12—13 ans. Pour les garçons et les filles plus âgées, les valeurs notées sont différentes: les filles sont restées aux valeurs max. des groupes plus jeunes tandis que les garçons pouvaient atteindre une plus grande vitesse. Pour les adultes la différence de la vitesse max. était de 18,5 %. Plus le sujet était jeune, plus l'absorption d'O²/kg. était forte pour la course à une certaine vitesse, mais les "frais" étaient les mêmes pour les garçons et les filles, si la vitesse était en rapport avec les facultés du sujet.

En se basant sur ces recherches et d'autres, on peut tirer certaines conclusions pour le travail physique. C'est le sport qui nous intéresse le plus directement, mais il faut aussi faire remarquer que le travail

professionnel exige dans bien des cas une prestation motivant une application des mêmes principes physiologiques qui valent pour le sport.

Comme nous l'avons déjà mentionné, la capacité d'absorption d'oxygène par rapport au poids du corps est la même pour les garçons dans tous les groupes d'âge scolaire (à partir de 7 ans), et elle ne diffère pas de celle des étudiants du G. C. I. D'un autre côté les valeurs calculées au repos sont relativement plus hautes pour eux, ce qui fait que le "domaine de variation" est plus faible pour les plus jeunes. Pour la course au moins leur rendement est moins bon. La capacité "aérobie" couvre donc un domaine d'intensité relativement moins grand.

Les filles peuvent à cet égard être égales aux garçons du même âge jusqu'à la puberté, mais ensuite la capacité aérobie relative diminue, et est de 30 % (valeur absolue) inférieure à celle des hommes, de 20 % inférieure par rapport au poids. Le rendement pour le cyclisme et la course est le même pour les deux sexes, à condition que l'intensité soit adaptée à la capacité de travail. Si on prend la concentration maximum d'acide lactique obtenue comme expression de la capacité anaérobie, les deux sexes sont égaux.

Déterminer à l'aide des valeurs maxima d'absorption d'oxygène et de formation d'acide lactique la capacité max. de prestation d'un individu n'est pas possible. Un enfant de 9 ans peut avoir les mêmes valeurs max. relatives qu'un adolescent de 18 ans, mais il est loin de pouvoir courir aussi vite. La raison principale dépend certainement de facteurs purement mécaniques et aussi d'une technique moins bonne chez les plus jeunes. Dans nos recherches nous n'avons pas non plus pu trouver de rapport évident, à l'intérieur d'un même groupe, entre la vitesse max. de course et les valeurs max. ci-dessus mentionnées. Dans bien des cas la dépense d'énergie, c. à d. l'économie de course, a en outre été égale dans les faibles vitesses pour deux sujets, mais l'un d'eux peut avoir fait pour l'épreuve des valeurs maxima 2 km. de plus à l'heure. On peut pourtant

assurer qu'une capacité aérobie égale ou supérieure à la moyenne existe toujours chez les sujets du groupe ayant atteint les plus grandes vitesses. Une grande capacité d'absorption d'oxygène est certainement nécessaire pour que par ex. un coureur puisse obtenir de bons résultats dans les distances moyennes et longues. Nous pouvons mentionner comme exemple que le champion olympique de 1948 pour les 1500 m., H. E., a atteint pendant la course une absorption d'oxygène de 68,4 ml./min. et kg. (5,24 l./min. en tout). Le quatrième de la même course, G. B., a atteint 73,1 ml./min. et kg. La valeur moyenne pour les étudiants du G. C. I. était de 59,0 ml., tandis que la plus haute valeur individuelle était de 67,4 ml.

Une question d'éducation physique très importante est celle de savoir quels exercices et quelles compétitions doivent être faits par les enfants de différents âges. La discussion touche surtout les branches nécessitant de l'endurance. La capacité relative d'absorption d'oxygène étant la même chez les enfants et les adultes, les enfants devraient pouvoir exécuter des travaux prolongés et relativement durs. L'effort continu est cependant étranger aux enfants, mais il est extrêmement difficile de constater si la cause est physiologique ou psychologique. Les enfants choisissent spontanément des exercices variés, ils donnent un effort maximal pendant quelques secondes mais ils détestent le travail dur et monotone. La caractéristique de leur mode de vie est assez "anaérobie"; les ressources existent: rapide accélération et restitution, hautes valeurs de production d'acide lactique. En ce qui concerne le travail pénible et de longue durée, il faut insister sur le fait que l'organisme peut s'y adapter par un entraînement rationnel. Une grande capacité aérobie est certainement une condition importante mais cela n'empêche pas que les organes qui entrent en question doivent être entraînés. Cela entraîne des conséquences importantes pour le sport de la jeunesse. Pour atteindre des prestations d'élite, un coureur de distance longue et moyenne doit s'entraîner de 6 à 8 mois, systématiquement

et progressivement. Un tel programme est à peu près impossible pour les jeunes, il ne convient pas à leur mentalité. Le choix des exercices de sport pour la jeunesse, scolaire ou non, a donc des motifs psychopédagogiques, et non physiologiques et médicaux.

Il arrive souvent que des adolescents de 16—17 ans atteignent des records sportifs. Au cours de nos expériences, des filles et des garçons de 15 ans ont souvent atteint des valeurs d'absorption d'oxygène, de ventilation etc, du même ordre de grandeur que les plus hautes valeurs individuelles des adultes. Ils ont sans aucun doute des ressources "primaires" pour effectuer des prestations de longue durée, mais il est certain qu'eux non plus n'ont pas la faculté de s'entraîner rationnellement. Ils n'ont pas non plus autant de jugement que les adultes pour concourir avec bon sens et employer certaines tactiques pour les courses. S'ils préparent avec soin leur saison et s'ils ont un entraîneur avisé, il n'y a pas de raison physiologique pour qu'ils n'aient pas l'autorisation de concourir dans les branches qui nécessitent de l'endurance. Le danger est cependant qu'on généralise et qu'on emploie des exceptions comme preuve que ces branches conviennent à l'âge en question. Les suites peuvent être le surmenage, et on voit souvent des cas où des jeunes gens montrent des symptômes d'insuffisance cardiaque à la suite d'un concours trop fatigant. Pour un individu sain et bien entraîné, un système de "soupape de sûreté" semble fonctionner pour protéger du surmenage les organes vitaux, en particulier le cœur. La fatigue se fait sentir alors que d'importantes réserves de force existent encore. Si malgré la fatigue on s'oblige à continuer, la barrière suivante entre en jeu: les muscles refusent tout simplement de fonctionner, sans doute à cause des changements dans les milieux cellulaires (entre autre changement du degré d'acidité causé par la formation d'acide lactique). Même pour des branches telles que la course et le cyclisme, le facteur "limitatif" se trouve sans doute dans la capacité de la circulation périphérique et non dans

celle du muscle cardiaque lui-même. Cependant la force du cœur peut être sensiblement abaissée à cause d'un manque d'entraînement ou de quelque infection banale en apparence, et dans ces cas-là une dure compétition peut causer un trouble incurable. Il est sage de ne pas avoir un degré de difficulté trop élevé dans les concours d'endurance, afin d'éviter le surmenage.

Pour donner à la jeunesse de l'exercice en même temps qu'un certain entraînement d'endurance, on doit choisir des exercices où l'intensité maximum est rapidement suivie de restitution, comme par ex. les jeux de ballon, les courses de sprinter, le ski et les courses d'orientation dans un terrain varié et accidenté. La durée du jeu et la longueur des distances doivent être fixées en tenant compte avant tout de l'état d'entraînement des participants. Pour les âges antérieurs à la puberté nous trouvons dans nos examens certaines conditions pouvant être interprétées comme des "contre indications" en ce qui concerne le travail prolongé et relativement pénible, mais cela doit être contrôlé par d'autres recherches. Pendant la puberté on n'a sans doute pas besoin d'être particulièrement prudent dans les exercices d'éducation physique. Les valeurs obtenues pour les garçons et les filles s'insèrent bien entre celles des groupes plus jeunes et plus âgés.

Pour ce qui est des filles, elles peuvent avant la puberté faire, du point de vue physiologique, les mêmes sports que les garçons. Que dans certaines branches, en particulier le lancer, elles soient moins bonnes que les garçons peut dépendre de leurs goûts: "plutôt jouer à la poupée que casser des carreaux". La différence *peut* donc dépendre de la différence d'exercice, mais des facteurs anatomiques peuvent aussi entrer en jeu.

Pour les filles plus âgées, le même raisonnement vaut. Mais il ne faut pas oublier que les prestations qu'elles *sont en état* de faire sont nécessairement d'un autre ordre de grandeur que celles des garçons. Elles n'ont pas les mêmes ressources pour un travail dur et prolongé, mais cela n'est pas une raison pour qu'elles ne fas-

sent pas des sports exigeant des efforts. Elles n'ont généralement pas le même goût de la compétition que les garçons, mais *si* cela les amuse et si elles se sont entraînées rationnellement, elles peuvent très bien concourir entre elles même pour les grandes distances. Elles doivent pourtant s'attendre à encourir bien des critiques: une femme faisant tous ses efforts pour atteindre le but est considérée comme un spectacle plus déplaisant qu'un homme dans la même situation!

La participation des femmes aux exercices nécessitant un grand effort, en re-

lation avec la menstruation et la gravidité, est un problème spécial qui n'a pas été touché dans nos recherches.

Le prochain pas à faire est un examen semblable des individus de 30 à 65 ans. Il est certainement plus difficile à réaliser, mais d'un autre côté il est très justifié. Le recrutement pour les métiers comportant un dur travail physique se fait dans une large mesure parmi les individus d'âge plus élevé. Il est en outre particulièrement important que l'intensité des branches de sport qu'on recommande pour ces âges soient adaptée à la capacité de l'individu.