

V A R I A

TRAINING OF MUSCULAR ENDURANCE RELATED TO AGE (*)

By Michio Ikai. *School of Education. University of Tokyo — JAPAN.*

As the sound basis of work capacity in daily life as well as for production, Man should have endurance in each muscle group of trunk and limbs of the body.

Prior to the discussion in detail of the training of muscular endurance, a model of structure of work capacity in three dimensional space designed by the author, is shown in Fig. 1. When the force, speed and time are placed on three rectangular axis (x, y, z), the plane xy , xz , and yz represent power, strength endurance, and speed endurance.

On the other hand, three axis x, y, z , represent strength, speed and endurance respectively, while the curved surface (x, y, z) represents power endurance. On the surface of power-endurance, every sort of work capacity can be represented as forms of energy explosion.

Age difference and work output

According to the result obtained by the preceding experiment, by using arm ergometer with the load of $1/3$ of the maximum

L'ENTRAÎNEMENT DE L'ENDURANCE MUSCULAIRE RELATIVEMENT À L'ÂGE (*)

Par Michio Ikai. *École d'Education. Université de Tokyo — JAPON.*

Comme base saine de la capacité de travail dans la vie journalière, ainsi que pour la production, l'Homme devrait avoir de l'endurance dans tous les groupes musculaires du tronc et des membres du corps.

Avant de discuter, dans le détail, l'entraînement de l'endurance musculaire, un modèle de la structure de la capacité de travail dans l'espace tridimensionnel, dessiné par l'auteur, est montré dans la Fig. 1. Quand la force, la vitesse et le temps, sont placés sur les trois axes rectangulaires (x, y, z), les plans xy , xz , et yz , représentent la puissance, l'endurance de la force et l'endurance de la vitesse.

D'autre côté, les trois axes x, y, z , représentent respectivement la force, la vitesse et l'endurance, tandis que la surface courbe (x, y, z) représente l'endurance de la puissance. Dans la surface de la puissance-endurance, toutes les espèces de la capacité de travail peuvent être représentées comme formes d'explosions d'énergie.

Différence d'âge et rendement de travail

Selon le résultat obtenu dans l'expérimentation précédente, en employant un ergomètre brachial avec la charge $1/3$ de la

(¹) Congrès «I. C. H. P. E. R.» à Vancouver — CANADA, le 27/7/1967.

(¹) I. C. H. P. E. R. Congress at Vancouver — CANADA, on the 27/7/1967.

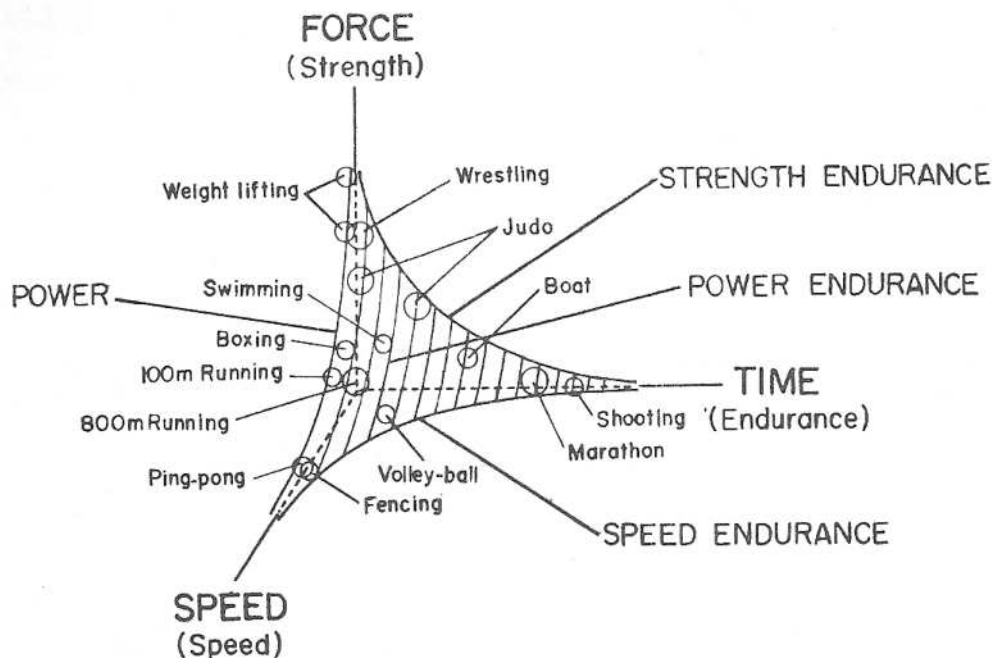


Fig. 1

Three dimensional projection of work capacity.

Projection trédimensionnelle de la capacité de travail.

(Ikai, 1967)

strength, one contraction each second till exhaustion, there was not found any significant difference in the average of number of contractions, on the arm ergometer, among ages and sexes (Ikai, 1964). However, there was found a significant improvement of the number of contractions with some individual differences, when the subjects were continuing to work on the ergometer to all-out, once a day for several weeks. The weight of the load on the arm ergometer was $1/3$ of the maximum strength of the arm flexors, and the intervals between the contractions controlled by metronome were in seconds. The subject continued the work until he failed to follow the regular rhythm of contractions, due to fatigue. The number of contractions was used as an index of muscular endurance for given weight and given rhythm. If the number of contractions is multiplied by the load on the ergometer,

force maximum, par des contractions chaque seconde, jusqu'à épuisement, on n'a pas trouvé aucune différence significative dans la moyenne du nombre des contractions, dans l'ergomètre brachial, parmi les âges et les sexes (Ikai, 1964). Cependant, on a trouvé une amélioration significative du nombre de contractions, avec quelques différences individuelles, quand les sujets continuaient à travailler au maximum sur l'ergomètre, une fois par jour, pendant plusieurs semaines. Le poids de la charge dans l'ergomètre brachial était $1/3$ de la force maximum des flechisseurs du bras et les intervalles entre les contractions, ont été contrôlés en seconds par le métronome. Le sujet continuait le travail jusqu'à l'impossibilité de suivre le rythme régulier des contractions, du à la fatigue. Le nombre des contractions fut employé comme indice d'endurance musculaire pour un poids et

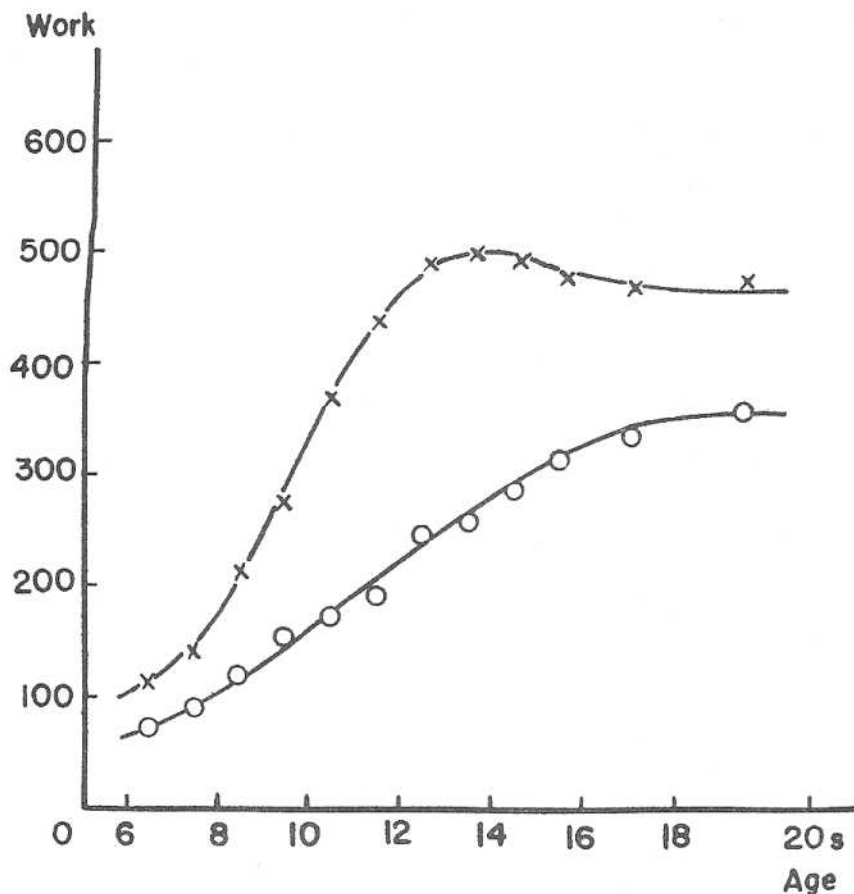


Fig. 2

Training effect of muscular endurance related to age.

Effet de l'entraînement de la résistance musculaire en rapport avec l'âge.

X After training = Après l'entraînement.

O Before training = Avant l'entraînement.

Work = No. of contractions $\times$ weight of the load (arbitrary unity).

Travail = N.º de contractions $\times$ poids de la charge (unité arbitraire).

mechanical work must be another index of muscular endurance.

After 5 weeks' training on the ergometer every day with 1/3 of the maximum strength, it was found that the best age for improvement was from 12 to 15. Fig. 2 shows the training effect related to age and respecting the mechanical work done by the subject before and after the training. On the other hand, muscular strength showed no

un rythme donnés. Si le nombre des contractions est multiplié par la charge dans l'ergomètre, le travail mécanique doit être un autre indice de l'endurance musculaire.

Après 5 semaines d'entraînement journalier sur l'ergomètre, avec le 1/3 de la force maximum, on a trouvé que l'âge meilleur pour se perfectionner, était 12 à 15 ans. La Fig. 2 montre l'effet de l'entraînement en rapport avec l'âge, quant au travail mécanique fait par le sujet avant et après l'entraînement. À son tour la force

significant improvement in every age, contrary to the improvement of muscular endurance.

These results suggest that there must be an optimum age for endurance training. This training effect was found to remain significantly, even after four weeks without exercise, suggesting some chronic change had occurred in the muscle tissue.

Improvement of aerobic capacity

To unveil the mechanism related to the chronic change in the muscle, the change of blood flow must be followed during the training. The increase of the blood flow after training has been confirmed by several authors (E. R. Vanderhoof et al, 1961, R. W. Elsner et al, 1962, F. D. Rohter et al, 1963, and M. Ikai, 1964).

At the laboratory of the author, the change of blood flow had been studied with two types of plethysmograph during training, one of them a classic water-plethysmograph, and the other the Whitney's modified plethysmograph. A hand ergometer was settled in the plethysmograph from which hung a suitable load outside of the water chamber; it was a special device for recording the change of volume of water in the glass tube, and the change of volume of the forearm and hand immersed in the chamber. The change observed in the water in the glass tube was referred to the variation of electric resistance between two rods of carbon inserted in the same glass tube (Ikai, Nakamura, 1964). On the other hand, the blood flow to the forearm was measured by means of occlusion method using 70 mm Hg of pressure applied on the upper-arm.

To confirm the underlying mechanism of different effects of training on younger and older boys, the change of blood flow to the forearm, was measured during the course of training extended to 6 weeks. The blood flow before training was about 25 ml/100

musculaire ne montrait pas d'amélioration significative dans tous les âges, contrairement à l'amélioration de l'endurance musculaire.

Ces résultats suggèrent qu'il doit exister un âge optimum pour l'entraînement de la résistance. On a trouvé que cet effet de l'entraînement se conservait significativement, même après quatre semaines sans exercice, ce qui suggère que quelque changement chronique est survenu dans le tissu musculaire.

Amélioration de la capacité aérobie

Pour découvrir le mécanisme en relation avec le changement chronique dans le muscle, la modification dans l'écoulement du sang doit être contrôlée pendant l'entraînement. L'augmentation de l'écoulement du sang après l'entraînement a été confirmée par plusieurs auteurs (E. R. Vanderhoof et col., R. W. Elsner et col. 1962, F. D. Rohter et col., 1963, et M. Ikai, 1964).

Dans le laboratoire de l'auteur, le changement dans l'écoulement du sang a été étudié avec deux types de plethysmographie, un plethysmographe à l'eau, classique, et un plethysmographe modifié par Whitney. Un ergomètre à main était établi dans le plethysmographe d'où pendait une charge convenable au dehors de la chambre à l'eau; c'était un procédé spécial pour enregistrer la modification dans le volume de l'eau dans le tube à verre et le changement dans le volume de l'avant bras et de la main immergée dans la chambre. Le changement observé dans l'eau du tube était référé à la variation de la résistance électrique entre deux baguettes de charbon insérées dans le même tube à verre (Ikai, Nakamura, 1964). À son tour l'écoulement du sang vers l'avant bras était mesuré au moyen de la méthode à occlusion, employant 70 mm Hg de pression appliquée à l'avant bras.

Pour confirmer le mécanisme des différents effets de l'entraînement sur les garçons moins ou plus âgés, la modification dans l'écoulement du sang vers l'avant bras, était mesurée pendant l'entraînement d'une durée de 6 semaines. L'écoulement du sang

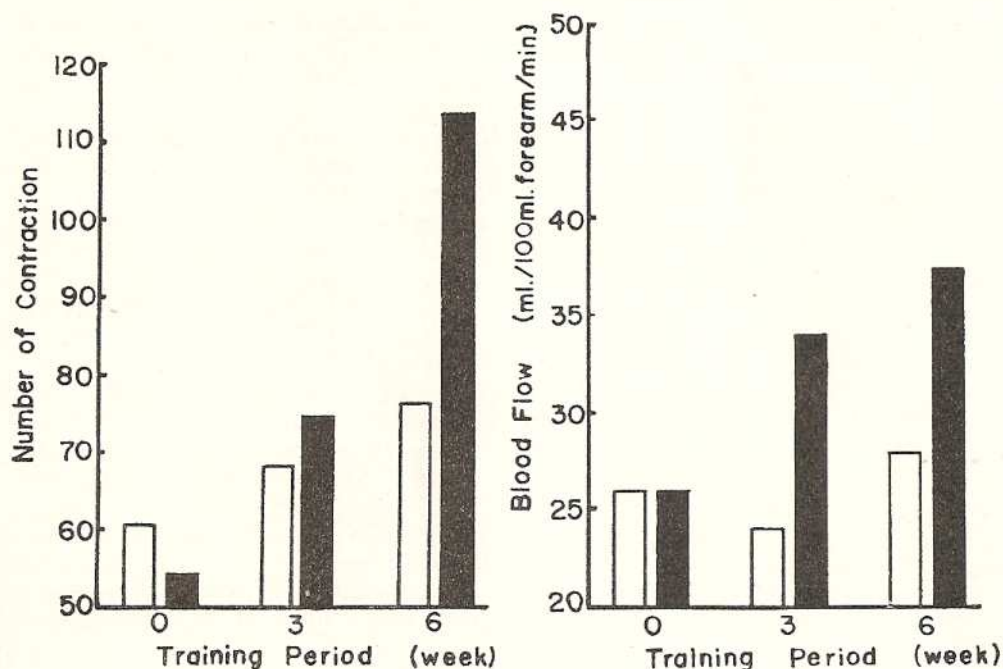


Fig. 3

Training effect on number of contractions and blood flow related to age.

Effet de l'entraînement sur le nombre de contractions et le courant sanguin, en rapport avec l'âge.

ml forearm/min in boys of age 12 and older ones.

After 3 weeks' training, the blood flow in the younger group was increased to 34 ml/100 ml/min (40 % increase), while no increase was found in the older group. After 6 week training, the blood flow was found to be 37 ml/100 ml/min (48 % increase) in younger group, and 28 ml/100 ml/min (4 % increase) in older group (Fig. 3).

Accompanied by the increase of blood flow, the number of contractions was significantly increased after 6 weeks' training in the younger group, while in the older group a small effect was found even after 6 weeks' training.

From these results it may be concluded that the physiological background for favou-

avant l'entraînement était environ 25 ml/100 ml. par min. dans l'avant bras des garçons de 12 ans et plus.

Après 3 semaines d'entraînement, l'écoulement du sang dans le groupe le plus jeune, augmentait à 34 ml/100 ml/min (40 % plus grand), tandis qu'il n'était trouvée aucune augmentation dans le groupe le plus âgé. Après 6 semaines d'entraînement, on a trouvé que l'écoulement du sang était 37 ml/100 ml/min. (48 % plus grand) dans le groupe le plus jeune, et 28 ml/100 ml/min. (4 % plus grand) dans le groupe le plus âgé (Fig. 3).

Accompagné de l'accroissement de l'écoulement du sang, le nombre des contractions a augmenté de façon significative, après 6 semaines d'entraînement, dans le groupe le plus jeune, tandis que, dans le groupe le plus âgé on a trouvé un petit effet, même après 6 semaines d'entraînement.

On peut conclure de ces résultats, que l'arrière-plan physiologique pour l'effet fa-

nable training effect in younger boys around 12-15 years of age, must be easier capillarization in the muscles compared with that of older ones. It could be suggested from these findings that the basic physical training of endurance must be available from early teens.

Further training

As to the prescription for optimal standard of exercise for muscular endurance, the following experiments were conducted by the author and his collaborators. The experiments consisted of two procedures to find 1) how long, and 2) how often the training should be done for getting the maximum effect.

Twenty-two boys aged 12 served as subjects. They were classified into two groups: The boys of group A had training six times a week, and the boys of group B had training three times a week. The training con-

vorable de l'entraînement chez des garçons les plus jeunes d'environ 12-15 ans, doit être la capillarisation plus facile dans les muscles, comparée avec celle des plus âgés. On pourrait suggérer de ces découvertes, que l'entraînement physique de base, de l'endurance, doit être accessible dès l'adolescence.

L'entraînement ultérieur

Quand à la prescription d'un niveau optimum d'exercice pour l'endurance musculaire, les expérimentations suivantes ont été conduites par l'auteur et ses collaborateurs. Les expérimentations ont consisté en deux procédés pour trouver: 1) combien de temps et 2) combien de fois l'entraînement devrait être fait pour obtenir l'effet maximum.

Vingt-deux garçons, âgés de 12 ans, ont servi comme sujets. Ils ont été classés en deux groupes. Les garçons du groupe A s'entraînaient six fois par semaine et les garçons du groupe B s'entraînaient trois

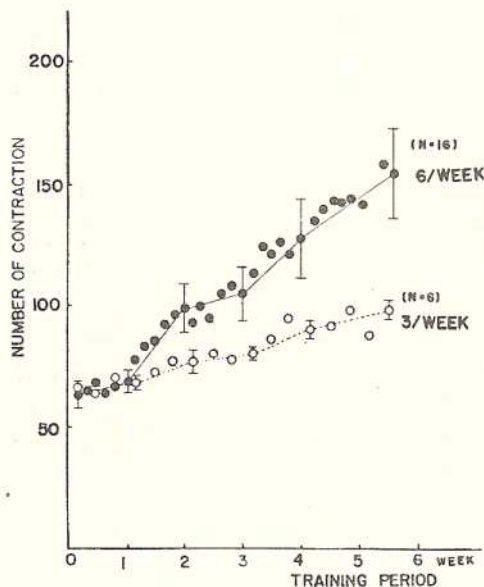


Fig. 4

Effect on muscular endurance related to the frequency of training.

Effet sur la résistance musculaire, en rapport avec la fréquence de l'entraînement.

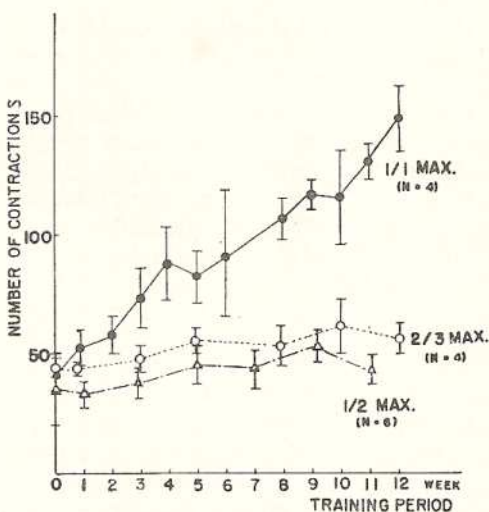


Fig. 5

Effect on muscular endurance, related to the duration of training.

Effet sur la résistance musculaire, en rapport avec la durée de l'entraînement.

sisted of muscular contractions for lifting the load of 1/3 of the maximum strength once a day and lasting around one minute.

Before this training, the number of contractions was almost the same as 60 contractions in each group. After 6 weeks' training, the number of contractions in group A (6 times a week) was significantly increased to 155 on the average (158 % increase), while in group B (3 times a week) the number of contractions was increased to 100 on the average i.e. 65 % increase (Fig. 4). From these results it may be concluded that the training for muscular endurance was more effective by training every day than by training every other day.

As the second step, the following experiment was conducted to reveal how long

fois par semaine. L'entraînement consistait en contractions musculaires pour élever la charge de 1/3 de la force maximum, une fois par jour et pendant environ une minute.

Avant cet entraînement, le nombre des contractions était presque le même dans chaque groupe: 60 contractions. Après 6 semaines d'entraînement, le nombre des contractions dans le groupe A (6 fois par semaine) a été augmenté d'une façon significative à 155, en moyenne (158 % de plus), tandis que, dans le groupe B (3 fois par semaine) le nombre des contractions a augmenté jusqu'à 100, en moyenne, c'est-à-dire 65 % de plus (Fig. 4). De ces résultats on peut conclure que l'entraînement pour l'endurance musculaire a été plus effectif par l'entraînement journalier que par l'entraînement avec un jour d'intervalle.

Comme seconde phase, l'expérience suivante a été conduite pour révéler combien

Age 20s (Male)

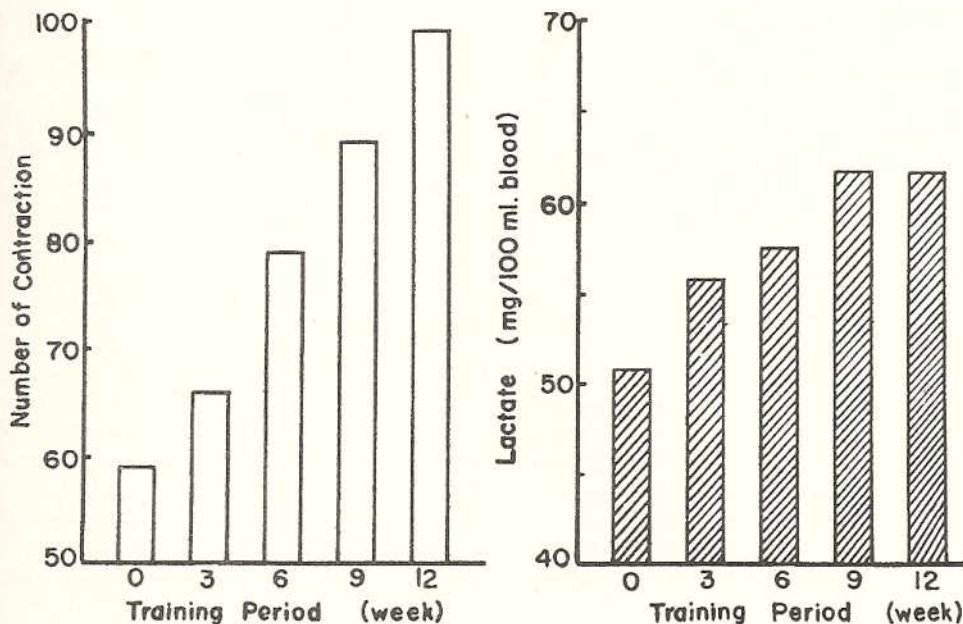


Fig. 6

Training effect on number of contractions and change of lactic acid concentration in the cubital vein.

Effet de l'entraînement sur le nombre des contractions et changement de la concentration de l'acide lactique dans la veine cubitale.

Avez vous payé pour 1969?

the training should be continued for getting the maximum effect in 14 boys of a high school. The subjects were classified into three groups A, B, and C. In group A, the subjects worked till all-out. In group B, they worked by two-third of the maximum number of contractions. In group C they worked only half of the maximum number of contractions. All the subjects of each group participated in every day training for 12 weeks. The results showed a significant increase of number of contractions in group A after the training, while no significant increase in group B and group C was observed. From these results it may be concluded that the work of training for muscular endurance should be conducted till all-out (Fig. 5).

It is supposed from these results that the optimum stimulus for getting the maximum improvement of endurance, must be a long lasting aerobic work, accompanied by the anaerobic one.

Anaerobic mechanism

To reveal the mechanism of favourable effect of training by the work till all-out, lactic acid in the blood from the cubital vein was measured by Barker & Summer-son's calorimetric method (1941) immediately after the subject has finished the work. Four male students in their 20s served as the subjects. They were submitted to a training of repeated contractions on the ergometer with a load of 1/3 of the maximum strength till all-out, once a day for 12 weeks. The number of contractions was increased progressively from 60 to 100 on the average. At the same time, lactic acid in the venous blood of the forearm was increased from 51 to 62 mg/100 ml blood, after 12 weeks' training (Fig. 6). From these results it may be concluded that the increase of tolerance against the accumulation of lactic acid, must be another important factor for improvement of endurance capacity of muscle.

de temps l'entraînement devrait continuer pour obtenir l'effet maximum, chez 14 garçons d'une école secondaire. Les sujets ont été classés en trois groupes, A, B et C. Dans le groupe A les sujets ont travaillé au maximum. Dans le groupe B, ils ont travaillé selon les deux tiers du nombre maximum de contractions. Dans le groupe C, ils ont travaillé seulement selon la moitié du nombre maximum de contractions. Tous les sujets de chaque groupe ont participé dans un entraînement journalier pendant 12 semaines. Les résultats ont montré l'augmentation significative du nombre des contractions dans le groupe A, après l'entraînement, tandis qu'on n'observait pas d'augmentation dans les groupes B et C. De ces résultats on peut conclure que le travail d'entraînement pour l'endurance musculaire doit être conduit jusqu'au maximum (Fig. 5).

On suppose de ces résultats que le stimulus optimum pour obtenir l'amélioration maximum de l'endurance, doit être le travail aérobique de longue durée, accompagné de travail anaérobique.

Mécanisme anaérobique

Pour révéler le mécanisme de l'effet favorable de l'entraînement par le travail maximum, l'acide lactique du sang de la veine cubitale a été mesuré par la méthode calorimétrique de Barker & Summer-son (1941) immédiatement après que le sujet a terminé le travail. Quatre étudiants âgés de 20 ans, ont servi de sujets. Ils ont été soumis à un entraînement de contractions répétées dans l'ergomètre avec une charge de 1/3 de la force maximum jusqu'à épuisement, une fois par jour et pendant 12 semaines. Le nombre des contractions fut augmenté progressivement de 60 à 100, en moyenne. En même temps l'acide lactique dans le sang veineux de l'avant bras augmenta de 51 à 62 mg/100 ml de sang, après 12 semaines d'entraînement (Fig. 6). On peut conclure de ses résultats, que l'augmentation de la tolérance à l'accumulation d'acide lactique, doit être un autre facteur important pour l'amélioration de la capacité de l'endurance du muscle.

Have you paid for 1969?

Summary

Summarizing the results from the experiments described above, the following conclusions may be drawn:

1) The fundamental training for muscular endurance must be started in the early teens with a load of 1/3 of the maximum strength every day. The main factor of improvement of muscular endurance was found experimentally to be the increase of capillarization and of blood flow.

2) The every day training is recommended for them and the work should be continued long enough so as the muscle reaches acute local exhaustion.

The training of muscular endurance must be one way of basic conditioning for preparation of general endurance available for daily activity in later years.

Sommaire

En résumant les résultats des expérimentations ci-dessus décrites, on peut tirer les conclusions suivantes:

1) L'entraînement fondamental pour l'endurance musculaire doit commencer à l'âge de 13-14 ans, avec une charge de 1/3 de la force maximum, chaque jour. Le facteur principal de l'amélioration de l'endurance musculaire a été trouvé expérimentalement être l'augmentation de la capillarisation et de l'écoulement sanguin.

2) L'entraînement journalier est recommandé et le travail doit être continué pendant le temps suffisant de façon que le muscle atteigne l'épuisement local.

L'entraînement de l'endurance musculaire doit être une des conditions de base de l'endurance générale utilisable pour l'activité journalière.

TABLE.

Training effects on muscular endurance, Blood flow and blood lactates in adult men.
Effets de l'entraînement sur l'endurance musculaire, Ecoulement du sang et lactates sanguins chez les hommes adultes.

	Training Period (Week)					
	0	3	6	9	12	
No. de contractions	50.90 ± 7.5	66.0 ± 13.9	79.2 ± 9.2	88.7 ± 16.8	99.0 ± 20.6	No. of contractions
Blood flow forearm/min. (ml/100 ml)	24.84 ± 4.92	23.16 ± 4.61	25.88 ± 6.54	29.78 ± 3.45	29.77 ± 3.54	Ecoulement du sang (ml/100 ml de l'avant bras/min)
Blood lactates (mg/dl)	50.90 ± 7.68	59.35 ± 6.41	57.85 ± 9.08	61.75 ± 5.18	61.65 ± 5.94	Lactates du sang (mg/dl)

(Mean ± S. D.)

REFERENCES — RÉFÉRENCES

- 1) Barcroft, H. and A. C. Dohnhorst (1949): *The blood flow through the human calf during rhythmic exercise*. *J. Physiol.*, 109: 402-412.
- 2) Barker, S. B. and W. H. Summerson (1941): *The calorimetric determination of lactic acid, in biological materials*. *J. Biol. Chem.*, 138: 535-554.
- 3) Elsner, R. W. and L. D. Carlson (1962): *Postexercise hyperaemia in trained and untrained*. *J. appl. Physiol.*, 17(3): 436-440.
- 4) Ikai, Michio (1964): *Training of muscular endurance*. *Proc. Intern. Congr. of Sport Sciences*, 1964. *Jap. Union of Sport Sciences, Tokyo*, pp. 145-158.
- 5) Rohter, F. D., R. H. Rochelle and C. Hyman (1963): *Exercise blood flow changes in the human forearm during physical training*. *J. appl. Physiol.*, 18(4): 789-793.
- 6) Vanderhoof, E. R., C. J. Imig and H. M. Hines (1961): *Effect of muscle strength and endurance development on blood flow*. *J. appl. Physiol.*, 16(5): 873-877.

Ha pagado usted en 1969?