

## MUSCLE STRENGTH<sup>(1)</sup>

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

Dr. Hunsicker summarizes the instruments for strength testing in an article published in *Research Quarterly*. According to this article the first person who used the instrument named « *dynamometer* » was Graham in *England*. It is also said that French anthropologists had devised dynamometers for measuring muscle strength in 1600's. From early days it has been needed not only in Physical Education, but also in physiology, anthropology and orthopedic surgery. The tests for muscle strength have been made by many authors with various types of apparatus, which may be summarized as follows:

In 1800's some instruments for grip strength testing were invented or modified. The first spring steel dynamometer was devised by Regnier. Other types of grip dynamometer were invented by Burg and Collin. *Collin grip dynamometer* is one of the most popular instruments. These dynamometers have been modified and improved by Hammond and other authors. Especially in 1900 Smedley, contributed in the *United States of America*, with an improvement to permit adjustment of the grip device to fit it to the subject's hand. Nowadays the *Smedley Adjustable Dynamometer* is widely utilized in many countries. The *Mercurial Dynamometer* invented by Kellog and the *Pneumatic Dynamometer* by Geckler, have

## LA FORCE MUSCULAIRE<sup>(1)</sup>

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

Le Dr. Hunsicker résume dans un article de *Research Quarterly*, l'histoire des instruments pour tester la force. Selon cet article la première personne qui employa l'instrument appelé « *dynamomètre* » a été Graham en *Angleterre*. On dit aussi que des anthropologistes français ont inventé en 1600 des dynamomètres pour la mesure de la force musculaire. Cela a été nécessaire, il y a longtemps, non seulement en éducation physique mais, aussi, en physiologie, anthropologie et chirurgie orthopédique. Beaucoup d'auteurs ont employé plusieurs types d'appareils pour tester la force musculaire, ce qui peut-être résumé ainsi:

Quelques instruments pour tester la force de préhension ont été inventés ou modifiés en 1800. Le premier dynamomètre de ressort en acier, a été inventé par Regnier. D'autres types de dynamomètres de préhension ont été inventés par Burg et Collin. Le *Dynamomètre de préhension de Collin* est un des instruments les plus populaires. Ces dynamomètres ont été modifiés et perfectionnés par Hammond et autres auteurs. Spécialement Smedley, en 1900, aux *États Unis de l'Amérique*, contribua par un perfectionnement en vue de l'ajustement du dispositif de préhension pour l'adapter à la main du sujet. Actuellement, le *Dynamomètre Ajustable de Préhension de Smedley* est largement utilisé en plusieurs pays. Le

(<sup>1</sup>) Work presented at the *International Committee for the Standardization of Physical Fitness Tests*.

(<sup>1</sup>) Travail présenté au *Comité International pour la Standardization des Tests d'Aptitude Physique*.

Avez vous payé pour 1967 ?

not been widely used because of their high cost and cumbersome size.

On the other hand, D. A. Sargent in 1873 worked on the *Intercollegiate Strength Test*, concerning back and leg strength as well as grip strength, measured by dynamometer, arm strength being measured by the number of pull-up<sup>(2)</sup> and dips<sup>(3)</sup>. Later, Rogers improved *Sargent's Inter Collegiate Test*, and he developed *Physical Fitness Index (PFI)* and the *Strength Index (SI)* through setting norms and statistical validity studies.

In 1921, Martin designed the «*Spring Balance Muscle Test*» for studying the after effect of infantile paralysis. The principle of this test differed from other dynamometer tests; it is destined to measure the resistance against the force applied to the muscle of the subject. This is called «break technique»<sup>(4)</sup> and gives higher values than the actual strength ordinarily measured by 30 % or more.

In Japan T. Iwahara presented in 1932 the method of measurement of muscle strength of the arm and leg flexors and extensors and of back and abdomen muscles by using the spring dynamometer. Since 1930's S. Yoshida has contributed extensively to measure the strength of grip, back and abdomen muscles in Japanese students. The grip strength was measured using the balance, together with the measurement of strength of the finger, by T. Ishiko in 1953. He also carried out the measurement of the strength of the arm flexors by pulling up the load as well as by «break technique».

*Dynamomètre à mercure*, inventé par Kellog, et le *Dynamomètre Pneumatique* de Geckler, n'ont pas été largement utilisés à cause de leur coût élevé et de leurs dimensions encombrantes.

À son tour le Dr. A. Sargent a créé en 1873 le *Test Universitaire de Force* concernant la force du dos et des jambes, ainsi que la force de préhension mesurés par le nombre de «pull-up»<sup>(2)</sup> et «dips»<sup>(3)</sup>. Plus tard Roger perfectionna le *Test Interuniversitaire de Sargent* et développa l'*Indice d'Aptitude (PFI)* et l'*Indice de Force (SI)* établissant des normes et des études statistiques valables.

En 1921, Martin proposa le «*Test Musculaire de la Balance à Ressort*» en vue d'étudier l'effet tardif de la paralysie infantine. Le principe de ce test est différent d'autres tests dynamométriques; il était destiné à mesurer la résistance contre la force appliquée au muscle du sujet. Ceci est appelé «break technique»<sup>(4)</sup> et donne de plus grand valeurs que la force réelle ordinairement mesurée par le pourcentage de 30 % ou plus.

Au Japon T. Iwahara présenta en 1932 une méthode pour mesurer la force musculaire des fléchisseurs et extenseurs des bras et des jambes, des muscles du dos et de l'abdomen, employant le dynamomètre à ressort. Depuis 1930, S. Yoshida a largement contribué à la mesure de la force de préhension et à celle des muscles du dos et de l'abdomen des étudiants japonais. La force de préhension a été mesurée en 1953 en employant la balance, avec la mesure de la force du doigt, par T. Ishiko. Il a aussi fait la mesure de la force des fléchisseurs des bras en tirant la charge, ainsi que par la

(2) Heavings being in a hanging position from a bar.

(3) Arm bending and stretching, with the hands on ground.

(4) While the subject bends the arm at 90 degrees at the elbow joint against a load on the ergometer, this load is increased successively with additional weights. When the load reaches a certain weight, the subject can not bear it. This weight indicates the maximum strength of the muscles of the arm.

(2) S'élever étant suspendu à une barre.

(3) Flexion et extension des bras étant en «chute faciale».

(4) Pendant que le sujet fléchi le bras à 90°, dans l'articulation du coude, contre une charge de l'ergomètre, le poids est augmenté successivement avec des poids additionnels. Quand la charge atteint un certain poids, le sujet ne peut plus la soutenir. Ce poids indique la force maximum des muscles du bras.

Have you paid for 1967 ?

The strength of the knee extensor was tested by T. Kusunoki in 1957 using an equipment of oil pressure. The force of *torque* in rotation of the body was measured with a spring balance by K. Takagi.

H. Clarke in 1948 adapted a cable tensiometer for strength testing. According to his study, this instrument is more stable and generally useful for this purpose. It was free from most of the faults of other devices. He developed a strength test for thirty eight joint movements. A. H. Steinhäus and M. Ikai used cable tensiometer to observe the variation of muscle strength in various conditions in 1961. L. Morehouse tested the strength respecting the training effects on the muscle. P. V. Karpovich and his associates measured eccentric, concentric and isometric strength of arm flexors with the tensiometer.

Th. Hettinger and A. E. Muller have developed this measurement and observed the training effects on the muscles. They invented a special frame to fix the part of the body for measurement. Rohmert compared the muscle strength of various groups of the muscles of the human body.

In the field of strength testing, the strain-gauge equipment has been adopted during the last twenty years. This equipment is based upon the principle that any deformation of the ring or the bar can change the electrical resistance of the *strain-gauge*. The amount of force applied can be determined through the appropriate amplification and recording system. The strain-gauge equipment is useful for recording a series of muscular efforts or the force from the initial movement through the «drop-off». L. B. Neuman in 1949 devised *Neuman Myometer* with strain-gauge equipment<sup>(5)</sup> K. G. Watkin in 1950 devised *Watkin-Porter strain-gauge* to measure the arm flexors. H. Darcus in 1953 presented *Darcus Dynamometer* using the strain-gauge. E. Asmusen, Heeboll-Nielsen and B. Peterson

«break technique». La force des extenseurs des genoux fut testée par T. Kusunoki en 1957 employant un destillage de pression à huile. La force de torsion en rotation au corps a été mesurée avec la balance à ressort par K. Takagi.

H. Clarke, en 1948, adapta un tensiomètre à câble pour tester la force. Selon son étude, cet instrument est plus stable et généralement utile à cette fin. Il était exempt de la plupart des défauts des autres dispositifs. Il a développé un test de force pour trente huit mouvements articulaires, A. H. Steinhäus et M. Ikai ont employé en 1961 un tensiomètre à câble pour observer la variation de la force musculaire en des conditions variées. L. Morehouse testa la force en rapport avec les effets de l'entraînement sur les muscles. P. V. Karpovich et ses collaborateurs ont mesuré la force excentrique, concentrique et isométrique des fléchisseurs des bras avec le tensiomètre.

Th. Hettinger et A. E. Muller ont développé cette mesure et ont observé les effets de l'entraînement sur les muscles. Ils ont inventé une charpente spéciale pour fixer la partie du corps à mesurer. Rohmert a comparé la force de différents groupes de muscles du corps humain.

Dans le domaine du testage de la force, un équipement standard a été adapté dans les derniers vingt ans. Cet équipement est basé sur le principe que toute déformation de l'anneau ou de la barre peut changer la résistance électrique de l'équipement standard pour mesurer la tension. La quantité de force appliquée peut être déterminée par l'amplification appropriée et un système d'enregistrement. L'équipement standard pour mesurer la tension est utile pour enregistrer une série d'efforts musculaires ou la force du mouvement initial et sa décroissance progressive. L. B. Neuman en 1949 inventa le *Myomètre Neuman* avec «*strain-gauge*»<sup>(5)</sup>. K. G. Watkin inventa en 1950 un «*strain-gauge*» pour mesurer les flexisseurs des bras. H. Darcus, en 1953, présenta le *Dynamomètre de Darcus* employant

(<sup>5</sup>) Standard instrument for measuring strength.

(<sup>5</sup>) Instrument standard pour mesurer la force.

developed the strain-gauge dynamometer for multiple use. They presented methods and procedures for measuring the maximum isometric muscle strength in a number of «attempted movements». They devised five dynamometers, using strain-gauges in connection with a measuring bridge and registering potentiometer. Positions, fixations, and principal active muscles, electromyographically determined, are listed for each attempted movement. Normal standards, with standard deviations, were presented graphically for boys and girls aged 7 to 16 years, using the body height as reference.

A. Kral and his collaborators have carried out the measurement of muscle strength with strain-gauge equipment in boys and girls in *Czechoslovakia*. In *Japan* various kinds of spring steel dynamometer have been used for muscle strength testing. However, strain-gauge type equipments are utilized in some experimental works.

E. Asmussen, O. Hansen and O. Lammert in 1965 presented a study on the relation between isometric and dynamic muscle strength in man. A series of muscle tests was performed in 18 men, aged 18-30 years. Maximal contractions were performed with the arm-shoulder muscles by pulling on a handle,

- 1) under isometric conditions,
- 2) during shortening of the muscles (concentric), and
- 3) during forced lengthening of the muscles (eccentric).

It was found that the maximum force was smaller during concentric contractions, and greater during eccentric contractions, than during isometric contractions. The differences increased with increased velocity of the movement in both cases. There was a high degree of correlation ( $r=0.8$ ) between a person's isometric and dynamic strength, independent of his athletic fitness.

le «strain gauge». E. Asmussen, Heeboll-Nielsen et B. Peterson ont développé le dynamomètre «strain gauge» pour l'usage multiple. Ils ont présenté des méthodes et procédés pour mesurer la force musculaire isométrique maximum en plusieurs «mouvements essayés». Ils ont inventé cinq dynamomètres employant le «strain-gauge» en liaison avec un «pont de mesure» et un potentiomètre enregistreur. Les positions, les fixations et les muscles actifs principaux, déterminés électromyographiquement, sont inscrits pour «chaque mouvement essayé». Des «standards» normaux avec des déviations «standard», ont été présentés graphiquement pour garçons et jeunes filles de l'âge de 7 à 16 ans, employant la taille comme référence.

A. Kral et ses collaborateurs ont mesuré la force musculaire avec l'équipement «strain gauge» pour des garçons et jeunes filles en *Tchécoslovaquie*. Au *Japon* des variétés de dynamomètres à ressort en acier ont été employées pour tester la force musculaire. Cependant, les types d'équipement «strain gauge», sont utilisés en quelques travaux expérimentaux.

E. Asmussen, O. Hansen and O. Lammert ont présenté en 1965 un étude sur le rapport entre la force musculaire isométrique et dynamique chez les hommes. On exécuta une série de tests musculaires sur 18 hommes âgés de 18 - 30 ans. Les contractions maximum ont été exécutées par les muscles des épaules en tirant une poignée,

- 1) en conditions isométriques,
- 2) pendant le raccourcissement des muscles (concentrique) et
- 3) pendant l'allongement forcé des muscles (excentrique).

Il a été trouvé que la force maximum était inférieure pendant les contractions concentriques et plus grande pendant les contractions excentriques, que pendant les contractions isométriques. Les différences augmentaient dans les deux cas quand la vitesse des mouvements était plus grande. Il y avait un haut degré de corrélation ( $r=0.8$ ) entre la force personnelle isométrique et dynamique, indépendante de l'aptitude athlétique

In *Japan* Mr. Ono compared eccentric strength with concentric and isometric strength as well. M. Ikai and M. Kaneko also followed this line using a modified mechanical device together with recording electromyograms.

P. Merton in *England* studied the relation between the maximum strength in voluntary efforts and of electrically stimulated contraction. As stated in the «*Textbook of Physiology*» by Starling and Evans, revised by several authors, it has often been questioned whether in a maximal voluntary effort all the fibers in a given muscle can be fully activated, or whether greater tension would be developed if the motor nerve could be stimulated directly.

## SELECTION OF INSTRUMENTS

### 1. Spring balance dynamometer

This is one of the most popular types of these equipments. The spring balance is limited to a certain range: heavier scales could be used but they would be increasingly awkward and insensitive to weak strength tests. The objectivity coefficients are satisfactory. A serious fault of this instrument is the amount of movement of the testing unit when tension is applied, which allows the specified joint angle and the angle of pull to change, as mentioned by H. H. Clarke.

### 2. Cable tensiometer

This equipment has the advantage of measuring the maximum strength as well as the graded strength under the isometric condition approximately. It is recommended for all uses because of its simplicity and accuracy. The objectivity coefficients for the tests, according to H. Clarke, with tensiometer, varies between 0.90 and 0.95. The precision thus indicated is consistently higher than for the other instruments. H. Clarke suggests that two tensiometers are needed for most tests, one which registers up to 100 pounds and another which will

Au *Japon* M. Ono compara aussi la force excentrique avec la force concentrique et isométrique. M. Ikai et M. Kaneko ont suivi aussi ce critère en utilisant un dispositif mécanique modifié, conjointement avec électromyogrammes enregistreurs.

P. Merton en *Angleterre* étudia la relation entre la force maximum en efforts volontaires et les contractions stimulées électriquement. Comme il est affirmé dans le *Manuel de Physiologie* de Starling et Evans, révisé par plusieurs auteurs, on a plusieurs fois demandé si dans l'effort volontaire maximum toutes les fibres d'un certain muscle sont activées complètement, ou si on développera une tension plus grande si le nerf moteur pourrait être stimulé directement.

## SÉLECTION DES INSTRUMENTS

### 1. Dynamomètre de balance à ressort

Il est un des types plus populaires de ces équipements. La balance à ressort est limitée à une certaine étendue: des balances plus lourdes pouvaient être utilisées mais elles seraient probablement plus embarrassantes et insensibles pour tests de moindre force. Les coefficients d'objectivité sont satisfaisants. Un grand défaut de cet instrument est la quantité de mouvement de l'unité de testage quand on applique la tension qui permet à l'angle articulaire spécifié et à l'angle de traction, de changer, comme il a été mentionné par H. H. Clarke.

### 2. Tensiomètre à câble

Cet équipement a l'avantage de mesurer la force maximum ainsi que la force graduée approximativement en conditions isométriques. Il est à recommander pour tous les usages à cause de sa simplicité et de sa précision. Les coefficients d'objectivité pour les tests, selon H. Clarke, avec le tensiomètre, varient entre 0.90 et 0.95. La précision ainsi indiquée est toujours plus grande qu'avec les autres instruments. H. Clarke suggère que deux tensiomètres sont nécessaires pour la plupart des testages, l'un d'eux enregistre jusque 100 «livres» et

record up to 400 pounds. The lower end of the 400-pounds instrument is not accurate (below 30 pounds), while the 100-pound instrument does not allow testing of stronger muscle groups (i.e. knee extensors).

According to experiences in *Japan*, selected fine material of steel should be used for this purpose.

### 3. Strain gauge Tensiometer

This equipment also has the advantage of measuring the strength under approximately isometric conditions. This has a satisfactory degree of precision in strength testing. However, it is extremely sensitive to slight tension, including changes in room temperature and permits distortion of the metal ring used in its construction when strong strength tests are administered, with a slow return to its original shape.

The isometric muscle tests, according to E. Asmussen, are expressed either in Kg push or pull during the attempted movement or  $\text{Kg} \times \text{cm}$ , i.e. torque.

### 4. Ergograph

This method has the advantage of utilizing the whole range of movement. It is useful to register the course of changing intensity produced by muscle contraction in successive efforts. However, the conditions of measurement are different from those of the isometric contractions. A disadvantage is that it is time-consuming and fatiguing for the subject. It measures working capacity rather than strength.

### 5. Inertia wheel ergometer

This method was originally devised by A. V. Hill to make clear the relation between the tension developed by a muscle and the speed of shortening. According to E. Asmussen, the ideal muscle test would be not the one that in one trial the maximum tension is measured throughout the whole

l'autre enregistre jusque 400 «livres». L'extrémité inférieure de l'instrument de 400 livres n'est pas à précision (en-dessous de 30 «livres»), tandis que l'instrument de 100 «livres» ne permet pas de tester les groupes musculaires plus forts (c'est-à-dire, les extenseurs des genoux).

Selon des expériences au *Japon*, du matériel choisi, en acier, devrait être employé pour cet usage.

### 3. Tensiomètre «strain gauge»

Cet équipement a aussi l'avantage de mesurer la force en conditions approximatives d'isométrie. Il a un degré satisfaisant de précision pour tester la force. Cependant, il est extrêmement sensible à la tension légère, comprenant des changements de température intérieure et permet la distortion de l'anneau métallique utilisé pour sa construction, à l'occasion de tests forts, avec lent retour à sa forme originelle.

Les tests musculaires isométriques, selon E. Asmussen, sont exprimés ou en Kg pousser ou tirer pendant le «mouvement essayé» ou  $\text{Kg} \times \text{cm}$ , c'est-à-dire, «force de torsion».

### 4. Ergographe

Cette méthode a l'avantage d'utiliser toute l'étendue du mouvement. Il est utile pour enregistrer le cours de l'intensité changeante produite par la contraction musculaire en efforts successifs. Cependant, les conditions de mesure sont différentes de celles des contractions isométriques. Un désavantage est celui de prendre beaucoup de temps et d'être fatigant pour le sujet. Il mesure plutôt la capacité de travail que la force.

### 5. Ergomètre d'inertie à roue

Cet méthode a été originairement projetée par A. V. Hill pour éclaircir la relation entre la tension développée par un muscle et la vitesse du raccourcissement. Selon E. Asmussen, le test musculaire idéal ne serait celui qui dans un essai la tension maximum est mesurée dans toute l'étendue du mouve-

range of movement of the joint. M. Ikai and M. Kaneko constructed a modified *Inertia Wheel Ergometer* of A. V. Hill's type with recording arrangement of strain-gauge tensiometer and electromyograph.

ment de l'articulation. M. Ikai et M. Kaneko ont construit un *Ergomètre d'Inertie à Roue* modifié du type de A. V. Hill avec le dispositif d'enregistrement du tensiomètre «strain gauge» et un électromyographe.

---