

# SECTIONS

SCIENTIFIQUE — SCOLAIRE — RÉCRÉATION & TRAVAIL (\*)

## QUANTITATIVE EVALUATION OF THE ACTIVITY OF THE BACK MUSCLES IN LIFTING <sup>(1)</sup>

By Erling Asmussen, Ellen Poulsen and Birger Rasmussen — *Copenhagen - DENMARK*

It was our intention with the present investigation to work out a system by means of which it would be possible to estimate what load a person could be allowed to lift and hold in a forward inclined position with safety. In order to do this certain assumptions were made, and before discussing our experiments and their results, these assumptions must be stated and justified.

We assume that in lifting a load from the floor or some other level below knee-height the weakest part of the body is the back, and especially its lumbar portion. We infer it from the fact that the lumbar spine, its bones, joint ligaments and muscles, is the most common site for damages caused by the lifting of heavy burdens. It is known that the other supporting parts of the body,

## ÉVALUATION QUANTITATIVE DE L'ACTIVITÉ DES MUSCLES DORSAUX PENDANT LE LEVER <sup>(1)</sup>

Par Erling Asmussen, Ellen Poulsen and Birger Rasmussen — *Copenhague - DANEMARK*

Notre intention avec la présente investigation a été d'élaborer un système au moyen duquel il serait possible d'évaluer quelle charge une personne serait capable de lever et de maintenir avec sécurité dans une position inclinée en avant. Pour cela on a présenté certaines hypothèses qui doivent être énoncées et justifiées avant la discussion de nos expériences et de leurs résultats.

Nous présumons que, en levant une charge du sol ou d'autre niveau en dessous la hauteur du genou, la partie la plus faible du corps est le dos, spécialement la partie lombaire. Nous inférons cela du fait que la colonne lombaire, ses os, ligaments articulaires et muscles sont l'emplacement le plus commun des dégâts causés par le lever de poids lourds. Il est connu que les autres

<sup>(1)</sup> *Communications from The Danish National Association for Infantile Paralysis*, Nr. 21, 1965.

<sup>(1)</sup> Traduit de *Communications from The Danish National Association for Infantile Paralysis*, No. 21, 1965.

(\*) Cette première partie du *Bulletin* est spécialement destinée aux articles que nous sont directement envoyés par les Présidents des *Sections de la F.I.E.P.*

This first part of the *Bulletin* is specially destined to articles sent us directly by the Presidents of the *Sections of the F.I.E.P.*

Esta primera parte del *Boletín* es especialmente destinada a los artículos que nos son enviados directamente por los Presidentes de las *Secciones de la F.I.E.P.*

Obrigado por 1966! — Ano Novo Feliz, 1967!

e.g. the legs, can carry loads far in excess of what the back can sustain, and even the hands and the arms often can hold weights that a stooped back is unable to carry.

We further assume that the passive structures of the back — especially the vertebrae and the discs — are best fit for resisting loads when maintained in their habitual position, i.e. the position habitually taken up in the free standing posture. In this position we assume the compressive stresses to be most equally distributed over the cross-sectional areas of the vertebrae and discs, and the trabeculae and fibers of bones and ligaments to be optimally orientated for withstanding the strain. This assumption implies that correct lifting should be performed with the back in the normal straight position, i.e. with a normal lumbar lordosis, even when lifting weights from the floor. There are other reasons for preferring this form of lifting, as will be mentioned next.

Our third assumption is, that the forces that should be mobilized in order to overcome the pull of gravity on the load and the upper part of the body should be muscular forces, and not the passive elastic resistance of ligaments and discs. This is contrary to what most often is the case in daily life: *Floyd and Silver* (1955), and others have found that the deep muscles of the back are electro-myographically silent in the fully forward bent position and during the early stages of stooped lifting. Their subjects did not attempt to keep the back straight, and it was — probably correctly — concluded that it was the passive elements — ligaments etc. — that carried the load under these circumstances.

*Davis, Troup and Burnard* (1965) found correspondingly that the lumbar spine during the early stages of a lift was flexed a little further ventrally, before the back muscles were mobilized and extension began. They considered this an appropriate adaptation to the sudden increase in load when

parties qui supportent le corps, c'est-à-dire les jambes, peuvent transporter des charges beaucoup plus grandes que le dos et même les mains et les bras peuvent porter, plusieurs fois, des poids, qu'un dos incliné est incapable de transporter.

Par ailleurs nous présumons que les structures passives du dos spécialement les vertèbres et les disques — sont plus aptes à résister aux charges quand elles sont maintenues dans leur position habituelle, c'est-à-dire dans la position habituelle debout. Nous supposons que dans cette position, les efforts de compression sont distribués plus également sur les sections transversales des vertèbres et disques et des apophyses et fibres des os et ligaments qui sont orientés de la meilleure façon pour résister à l'effort. Cette supposition implique que le lever correct devrait être exécuté avec le dos en position redressée normale, c'est-à-dire avec la lordose lombaire normale, même pour le lever des poids du sol. Il y a d'autres raisons pour préférer cette forme de lever comme nous allons les mentionner.

Notre troisième hypothèse est que les forces qui devraient être mobilisées pour lutter contre l'action de la gravité sur la charge et la partie supérieure du corps, devraient être des forces musculaires et non la résistance élastique passive des ligaments et des disques. Ceci est le contraire de ce qui arrive plus souvent dans la vie journalière: *Floyd and I. Iver* (1955). et autres, ont trouvé que les muscles profonds du dos sont électro-myographiquement silencieux dans la flexion complète en avant et pendant les premiers moments du lever, tronc fléchi en avant. Leurs sujets n'ont pas essayé de conserver le dos droit et on a conclu — probablement avec raison — que c'étaient les éléments passifs (ligaments, etc.) qui supportaient la charge dans ces circonstances.

*Davis, Troup et Burnard* (1965) ont trouvé à leur tour que la colonne lombaire, pendant les premières phases du lever, était légèrement plus fléchie du côté ventral avant que les muscles dorsaux soient mobilisés et que l'extension ait commencé. Ils ont considéré ceci comme une adaptation

weight and inertia had to be overcome, but from another point of view it may be considered less fortunate, because it puts a very serious extra stress on the passive elements of the spine.

The forces acting on the corpora and discs of the spine in a lifting operation are due to the pull of gravity and to the opposing forces of muscle tensions and tensions in the ligaments. *Perey* (1957) and *Morris, Lucas and Bresler* (1961) have aptly shown that the part of the force which comes from muscle activity by far exceeds that due directly to gravity. This is because the lever arm, on which the back muscles act, is several times shorter than the lever arm on which gravity pulls.

An example, simplified after *Morris et al.* is shown in fig. 1. In this example the weight of (head + arms + trunk),  $w$ , can be assumed to be 35 kp and to act on the lever arm,  $a$ , 20 cm. The torque around an axis in the lumbo-sacral joint will be  $35 \times 20 = 700 \text{ kp} \times \text{cm}$  and must be opposed by the torque exerted by the back muscles,  $f \times b$ , in which  $b$  is assumed to be 5 cm. One then gets  $f \times 5 = 700$  and hence  $f = 140 \text{ kp}$ . The reaction in the joint which acts as fulcrum must be  $140 \text{ kp} + 35 \cos v \text{ kp} = \text{about } 165 \text{ kp}$ , if the angle of leaning forward,  $v$ , is  $45^\circ$  ( $\cos 45^\circ = 0.7$ ). If the weight of say 20 kg, is held in the hands it is easy to see, that the load on the joint will increase considerably, partly because of the increased weight, but mainly because of the increased muscle force. It is further obvious that  $b$  is anatomically defined and, therefore, constant; an increase of  $a$ , the lever arm of body and burden, will necessitate an increase of  $f$ , the muscular force. It will reach a maximum with the trunk horizontal when the muscle tension will be about 10 times greater than the weight it supports (*Perey*, 1957).

appropriée à l'augmentation soudaine de la charge quand le poids et l'inertie devaient être surmontés; mais sous un autre point de vue, cela pourra être considéré moins heureux parce que ce fait ajoute un grand effort supplémentaire pour les éléments passifs de la colonne.

Les forces agissant sur les corps vertébraux et les disques de la colonne, dans l'action de lever, sont dues à l'action de la gravité et aux forces opposées des tensions musculaires et ligamenteuses. *Perey* (1957) et *Morris, Lucas et Bresler* (1961) ont habilement montré que la partie de la force qui provient de l'activité musculaire excède de beaucoup celle qui est due directement à la gravité. Cela parce que le bras de levier sur lequel agissent les muscles dorsaux, est plusieurs fois plus court que le bras de levier sur lequel agit l'action de la gravité.

Un exemple simplifié, selon *Morris et Col*, est montré dans la fig. 1. Dans cet exemple on peut supposer que le poids (de la tête + bras + tronc)  $w$ , est 35 kp. et agit sur le bras de levier  $a$ , de 20 cm. Le «moment» de la force autour d'un axe, dans l'articulation lombo-sacrée sera de  $35 \times 20 = 700 \text{ kp} \times \text{cm}$ . et devra être opposée par le «moment» de la force exercée par les muscles dorsaux,  $f \times b$ , dans lesquels on suppose  $b$  égal à 5 cm. On obtient donc  $f \times 5 = 700$  d'où  $f = 140 \text{ kp}$ . La réaction dans l'articulation qui fait de point d'appui doit être  $140 \text{ kp} + 35 \cos v \text{ kp} = \text{environ } 165 \text{ Kp.}$ , si l'angle de l'inclinaison en avant,  $v$ , est  $45^\circ$  ( $\cos 45^\circ = 0,7$ ). Si le poids de, disons, 20 kg., est porté dans les mains, il est simple de voir que la charge, à l'articulation, augmentera considérablement, en partie à cause du poids augmenté, mais surtout à cause de la force musculaire augmentée. D'ailleurs il est évident que  $b$  est défini anatomiquement et, en conséquence, constant; l'augmentation de  $a$ , le bras de levier du corps et de la charge, nécessitera l'augmentation de  $f$ , la force musculaire. Il atteindra son maximum avec le tronc horizontal quand la tension musculaire sera environ 10 fois plus grande que le poids qu'elle supporte (*Perey*, 1957).

These very considerable loads on the corpora and discs of the lower lumbar spine have been verified by direct measurements of the pressure inside the nucleus of a lumbar disc by *Nachemson and Morris* (1964). By inserting a cannula into the nucleus pulposus of disc  $L_3$  of human volunteers, loads

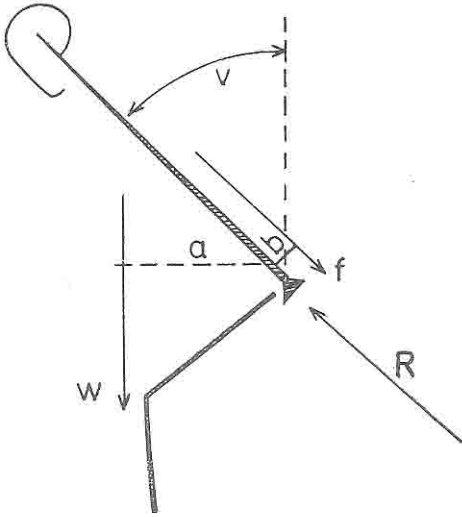


Fig. 1.

Simplified diagram of the force acting on a lumbar disc while holding a weight in the hands in a forward inclined position.  $W$ : pull of gravity,  $a$  its lever arm.  $f$ : muscular force,  $b$  its lever arm.  $R$  reaction on disc.  $v$  angle of body tilt.

Diagramme simplifié de la force agissant sur un disque lombaire supportant un poids aux mains dans une position inclinée en avant.  $W$ : traction de la gravité,  $a$  son bras de levier,  $f$ : force musculaire,  $b$  son bras de levier.  $R$  réaction sur le disque.  $v$  l'angle de l'inclinaison du tronc.

between 101 and 195 kp were recorded when the subjects were sitting with the line of gravity falling well in front of  $L_3$ . About 10% of this load is due to the intrinsic pressure in the nucleus — i.e. the expansion caused by the osmotic properties of the gel in the nucleus — but the rest is due to gravity and muscle pull.

Ces charges très considérables sur les corps vertébraux et les disques de la colonne lombaire inférieure ont été vérifiés par des mensurations directes de la pression à l'intérieur du nucléus d'un disque lombaire par *Nachemson and Morris* (1964). En insérant une canule dans le nucléus du disque

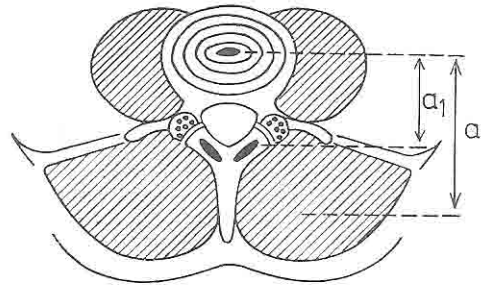


Fig. 2.

Schematic drawing of a section through the lumbar spine. The deep back muscles with their average distance ( $a$ ), from the nucleus are shown together with the ligamenta flava and their mean distance ( $a_1$ ) from the nucleus.

Dessin schématique d'une section de la colonne lombaire. Les muscles dorsaux profonds avec leur distance moyenne ( $a$ ) du noyau sont montrés ensemble avec les ligaments flava et leur distance moyenne ( $a_1$ ) du noyau.

$L_3$  de volontaires humains, les charges entre 101 et 195 Kp. ont été enregistrées quand les sujets étaient assis avec la ligne de gravité tombant en avant de la  $L_3$ . Environ 10% de cette charge était due à la pression intrinsèque dans le nucléus — c'est à dire l'expansion causée par les propriétés osmotiques du gel dans le nucléus — mais le reste est dû à la gravité et à la traction musculaire.

If, now,, one assumes a bent position, so that the muscles go out of action (cf. *Floyd & Silver*), then the force that opposes the pull of gravity must be the resistance to stretching of the ligaments on the dorsal side of the spine: The interspinous ligament, the ligamenta flava and the posterior longitudinal ligament. Among these, the elastic lig. flava are probably the most important. These ligaments lie on an average much closer to the axis of movement than do the back muscles (see fig. 2). The force which they have to exert, acts on a considerably shorter arm than does the muscle tension, and their downward pull, which is transmitted to the disc will consequently be much larger than that exerted by the muscles, on a rough estimate twice as great.

If a load, therefore, is carried with the back in such a position that the muscles are inactive and the ligaments are stretched, the total load on corpora and discs must be assumed to reach a dangerously high value. According to among others *Perey* (1957) the fracture load for lumbar spine sections decreases with age from around 800 kp in adults under 40 years of age to about 425 kp in people older than 60. The bony endplates seem to be the least resistant. But it is obvious that also the anulus fibrosus will be in danger of giving way for a hernia of the nucleus. These fracture loads are smaller than the loads that can be estimated from assumptions as above, but the possibility exists that the pressure in the abdominal and thoracic cavities may lessen the load on the spine, as suggested by *Morris et al* (1961).

We shall return to this question later and end this preliminary discussion by re-stating our last assumption: In correct lifting the back muscles must be activated to carry the burden, because this gives the least stress to the vertebrae and discs, less than when ligaments do so.

Si maintenant on prend une position fléchie, de façon que les muscles n'agissent plus (voir *Floyd E. Silver*) alors la force qui s'oppose à la traction de la gravité doit être la résistance à l'étirement des ligaments dans la partie dorsale de la colonne: Le ligament interépineux, le ligament «flava» et le ligament longitudinal postérieur. Entre eux, les ligaments élastiques «flava» sont probablement les plus importants. Ces ligaments se trouvent en moyenne plus proches de l'axe du mouvement que les muscles dorsaux (voir fig. 2). La force qu'ils doivent exercer agit sur un bras de levier considérablement plus court que la tension musculaire et sa traction vers le bras, qui est transmise au disque, sera en conséquence beaucoup plus grande que celle exercée par les muscles; on l'a estimée deux fois plus grande.

Donc si une charge est transportée avec le dos en telle position quand les muscles sont inactifs et les ligaments étirés, on doit supposer que le poids total sur les corps vertébraux et les disques atteint une valeur dangereusement élevée. D'accord avec *Perey* (1957), parmi d'autres, la charge de fracture pour les sections de la colonne lombaire décroît de 800 kp., environ chez les adultes au dessous de 40 ans, à près de 425 kp. chez les personnes âgées de plus de 60 ans. Les plaques osseuses terminales semblent être les moins résistantes. Mais il est évident que les anneaux fibreux seront aussi en danger de donner lieu à l'hernie du nucléau. Ces charges de fracture sont moindres que les charges qui peuvent être estimées de ce qu'on a dit auparavant, mais il y a la possibilité que la pression dans les cavités abdominale et thoracique peut faire diminuer la charge exercée sur la colonne comme il a été suggéré par *Morris et Col* (1961).

Nous reviendrons plus loin à cette question et nous terminerons cette discussion préliminaire, en énonçant de nouveau notre dernière hypothèse: dans le lever correct les muscles dorsaux devront être activés pour transporter la charge, parce que cela donne lieu à un moindre effort des vertèbres, disques et ligaments.

In summary therefore, we assume the correct lifting position for the back to be the habitual position, with a well pronounced, actively maintained lumbar lordosis.

With the above discussed presumptions it becomes clear that the strength of the back muscles, in particular of the lumbar erectors spinae, must be of paramount importance for the magnitude of the weight that a person with safety can lift from the floor. It would, therefore, be desirable from measurements of the strength of the back muscles to be able to predict the upper limit of such allowable weights. In order to obtain information of how large a pull the back muscles had to exert when a load of known weight was held in the hands, the following experiments were carried out.

First, the relationship between backward pulls executed by the back muscles and measured on a dynamometer and the concomitant integrated electromyograms (iemg) of these muscles was recorded and plotted as a calibration curve, iemg  $\mu\text{V}/\text{kp}$ .

Second, the iemg.s of the back muscles were recorded while the subject held a known weight in this hands in a standard position. By referring the recorded iemg.s to the calibration curve, the corresponding muscle forces in kp then can be read and plotted in relation to the weight of the burden.

### *Methods.*

The measurements of the force produced during isometric contractions of the back muscles were performed by means of a strain gauge-dynamometer as described earlier (Asmussen, Heeboll-Nielsen & Molbech, 1959). The force is measured during an attempted extension of the back in the erect position with a strap around the shoulders across the deltoid muscles. Weights to be lifted were placed in a box with two handles, about 40 cm apart, and weighing 2.5 kp. The subjects were instructed to keep their backs straight although not overextended, and at an angle to the vertical of 45°. The correct angle was secured by reading on an inclinometer placed so that it measured the angle between the vertical

En résumé, nous supposons donc que la position correcte du dos pour lever, est la position habituelle avec la lordose lombaire prononcée et maintenue activement.

Il devient clair des présomptions discutées ci-dessus que la force des muscles dorsaux, en particulier des extenseurs spinaux lombaires doit être d'importance primordiale pour la grandeur du poids qu'une personne peut lever du sol avec sécurité. Il serait donc souhaitable de pouvoir prédire la limite supérieure des poids permis, de la mensuration de la force des muscles dorsaux. En vue d'obtenir des informations sur la grandeur de la traction que ces muscles devraient exercer quand on tient un poids connu dans les mains, on a réalisé les expériences suivantes:

Premièrement on a enregistré et tracé une courbe calibrée «iemg»  $\mu\text{V}/\text{kp}$ , représentant la relation entre les tractions exercées par les muscles dorsaux mesurées par un dynamomètre et les électromyogrammes (iemg) de ces muscles.

En second lieu les «iemg.s» des muscles dorsaux ont été enregistrés pendant que le sujet soutenait un poids connu dans une position «standard». En référant les «iemg.s» enregistrés à la courbe calibrée, les forces musculaires «Kp» correspondantes peuvent être lues et tracées en rapport avec le poids de la charge.

### *Méthodes*

Les mensurations de la force produite pendant les contractions isométriques des muscles dorsaux ont été exécutées au moyen d'un indicateur dynamométrique de force déjà décrit (Asmussen, Heeboll-Nielsen & Molbech, 1959). La force est mesurée pendant la tentative pour redresser le dos en position droite avec une courroie autour des épaules à la hauteur des muscles deltoïdes. Les poids à lever ont été placés dans une boîte avec deux poignées séparées de 40 cm. environ et pesant 2.5 Kp. Les sujets ont été instruits à conserver leurs dos droits, bien que non exagérément étendus et à un angle de 45° par rapport à la verticale. L'angle correct était assuré en lisant un «inclinomètre» placé de façon

and a line connecting a point just above os sacrum, and vertebra prominens. Hips and knees were flexed and the feet placed about 50 cm apart. Control experiments showed that the degree of flexion in the knees and the placement of the feet had no influence on the muscle activities of the back under the experimental conditions.

The electromyograms were recorded by means of paired silver electrodes fastened to a strip of rubber, 2 cm apart. The rubber was glued to the skin over the lumbar part of the erectores spinae, level with the deepest part of the lordosis, by means of ordinary photo paste, and secured by strips of adhesive tape. The ground electrode was a piece of lead sheet rapped around the ankle and fastened by a bandage. The emg.s were recorded photographically together with their mean peak voltages (integrated emg., iemg.) by a *Disa* electromyograph with two channels and an integrator. Paper speed: 5 cm/sec, amplification of iemg.s 6  $\mu$ V/mm.

The electrical activity of the muscles was measured from the iemg by drawing by eye a horizontal line through the middle part of the recorded iemg.s, in such a way that it represents the average mean peak voltage, and measuring its distance from the base line (no activity). Fig. 3 shows an example.

*The experimental procedure* was the same from day to day: When the electrodes had been placed and tested for proper functioning the subject was connected with the dynamometer for measuring the strength of the back muscles (cf. Comm. 5, 1959) and was asked to perform a series of submaximal isometric contractions (attempted extensions of the back) of different strength, and one or two maximum contractions. The order of these contractions, i.e. weak to strong, was at random, and adequate pauses between each were allowed. The iemg.s and emg.s were recorded during the short (2

à mesurer l'angle entre la verticale et la ligne reliant un point justement au-dessus de l'os sacré et la vertèbre proéminente. Les hanches et les genoux étaient fléchis et les pieds écartés de 50 cm. environ. Des expériences de contrôle ont montré que le degré de flexion des genoux et le placement des pieds n'avaient aucune influence sur les muscles du dos, en conditions expérimentales.

Les électrocardiogrammes ont été enregistrés au moyen de paires d'électrodes d'argent fixés à une bande de caoutchouc éloignées de 2 cm. Le caoutchouc était collé à la peau par dessus la partie lombaire des extenseurs de la colonne au niveau de la partie la plus profonde de la lordose, au moyen d'une pâte ordinaire de photographie et fixé par des bandes de ruban collant. L'électrode du sol était une pièce de feuille de plomb placée autour de la cheville et fixée par un bandage. Les «emg.» ont été enregistrés photographiquement conjointement avec leurs voltages maximum moyennes («emg et iemg, intégrés»), par un électromyograph *Disa* avec deux canaux et un intégrateur. Vitesse du papier: 5 cm/sec, amplification du «iemg.s» 6  $\mu$ V/mm.

L'activité électrique des muscles a été mesurée par le «iemg» en dessinant à vue une ligne horizontale passant par la partie moyenne des «iemg.s» enregistrés, de façon qu'elle représente la moyenne des voltages maximum, et en mesurant sa distance de la ligne de base (aucune activité). La figure 3 montre un exemple.

*La procédure expérimentale* a été la même chaque jour: Après que les électrodes aient été placés et leur fonctionnement testé, le sujet était relié au dynamomètre pour mesurer la force des muscles dorsaux (voir *Comm. 5, 1959*) et invité à exécuter une série de contractions isométriques sous-maximales (des tentatives pour étendre le dos) de force différente et une ou deux contractions maximum. L'ordre de ces contractions, c'est à dire des plus faibles aux plus fortes, était au hasard; des pauses adéquates étaient permises entre elles. Les «iemg.s» and «emg.s» étaient enregistrés

to 3 seconds) period of maintenance of constant contraction.

After this the subject was released from the dynamometer and the lifting operations were started. The subject grasped the two handles of the box containing the weights and assumed the standard position: feet apart, knees bent, back straight and inclined  $45^\circ$  forward. He maintained this position for a few seconds while emg. and iemg. were recorded. There was no control of his breathing which was allowed to go on spontaneously. Usually a series

pendant de courtes périodes (2 à 3 seconds) de contraction constante.

Après le sujet était délivré du dynamomètre et les actions de lever commençaient. Le sujet saisissait les deux poignées de la boîte contenant les poids et prenait la position «standard»: pieds écartés, genoux fléchis, le dos droit et incliné de  $45^\circ$  en avant. Il maintenait cette position quelques secondes tandis qu'on enregistrait les «emg.». On ne contrôlait pas sa respiration qu'on permettait d'être spontanée. Usuellement une série de charges croissantes, était suivie

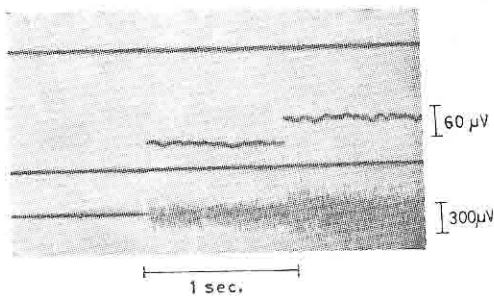


Fig. 3.

Emg.s (skin electrodes) from the lumbar erectors spinae, and integrated emg.s from the same muscles (mid. portion of record). Left: relaxed, leaning slightly backwards. Middle: holding 14,8 kg in the hands. Right: holding 31,2 kg in the hands. Body tilted  $45^\circ$  ventrally straight back.

Les «emg.s» (électrodes de la peau) des extenseurs spinaux lombaires et les «emg.s» intégrés des mêmes muscles (la partie au milieu de l'enregistrement). À gauche: le tronc en relaxation, incliné légèrement en arrière. Au milieu: en supportant 14,8 Kg aux mains. À droite: en supportant 31,2 Kg aux mains. Le corps est incliné  $45^\circ$  en avant avec le dos droit.

with increasing loads was followed by a series with decreasing loads, but this routine was often reversed. Finally, to check the position and functioning of the electrodes the dynamometer test was repeated with a number of submaximal isometric contractions.

In the course of the investigation it was found appropriate to check the dynamo-

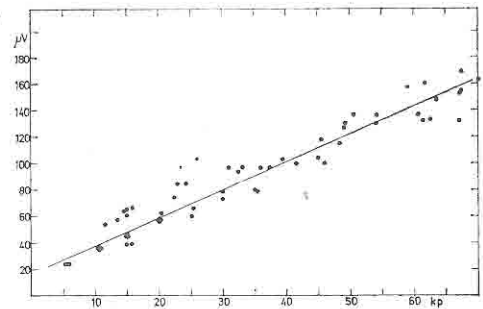


Fig. 4.

Mean peak voltages from integrated emg.s of back muscles in relation to backward pull with the muscles of the back on dynamometer. One subject tested at different occasions within one month.

Moyenne des voltages maximum des «emg.s» intégrés des muscles dorsaux quand les muscles dorsaux produisent une traction en arrière sur un dynamomètre. Sujet testé en 7 occasions différentes pendant un mois.

par une série de charges décroissantes mais on renversait plusieurs fois cet ordre. Finalement, en vue de vérifier le fonctionnement des électrodes, le test dynamométrique était répété avec un certain nombre de contractions isométriques sous maximales.

On a trouvé approprié de vérifier les mesures dynamométriques pendant l'investi-



meter measurements to make sure that the procedure used really measured the force with which a pull exerted perpendicular to the spine at the height of the shoulders was resisted by the deep muscles of the back. Instead of having the subject perform an «attempted extension» of the back against a strap fastened around the shoulders and connected with the strain gauge dynamometer, he was made to hold a weight, hanging from a string over a pulley on ball-bearings, either with the strap around his shoulders, or by his hands with the arms flexed 90° in the shoulder joints. The iemg.s were recorded and related to the weights in the same way as in the dynamometer tests.

### Results.

The relationship between extension force in the back muscles (in kp) and the mean peak voltage (in  $\mu\text{V}$ ) measured from the iemg.s of the lumbar back muscles turned out to be fairly rectilinear as shown for one subject in fig. 4. This relationship often could be reproduced with astonishing small deviations from day to day (cf. fig. 4), but could then for unexplainable reasons change to another level in the next experiments. The relationship was independent of whether the pull was exerted against the dynamometer or against a weight held over a pulley (fig. 5). Also, it seemed to be the same if the pull was exerted via the arms and hands (fig 6).

It was concluded, therefore, that the  $\mu\text{V}/\text{kp}$  relationship determined before and after each series of lifting operations could be used as a calibration curve for determining the force exerted by the back muscles in lifting (holding) weights in the arms in the 45° forward flexed position.

Fig. 7 shows the result from one individual experiment in one subject. It can be seen, that simply keeping the body in the 45° forward flexed position, without any load in the free hanging arms demands a force from the back muscles corresponding

tigation pour s'assurer que la procédure employée mesurait réellement la force avec laquelle une traction exercée perpendiculairement à la colonne, à la hauteur des épaules, était équilibrée par les contractions des muscles profonds du dos. Au lieu que le sujet exécute une «tentative d'extension» du dos avec une courroie fixée autour des épaules et reliée à l'indicateur d'effort du dynamomètre, il devait tenir un poids suspendu à un fil passant par une poulie sur une «boîte à billes», soit avec la courroie autour des épaules, ou par ses mains avec les bras fléchis à 90° aux articulations scapulaires. Les «iemg.s» étaient enregistrés et rapportés aux poids de la même façon que dans les tests dynamométriques.

### Résultats

La relation entre la force d'extension des des muscles dorsaux (kp) et le voltage maximum moyen ( $\mu\text{V}$ ) mesurée des «iemg.s» des muscles dorsaux lombaires se montra être assez rectiligne comme le montre la fig. 4 pour un sujet. Souvent cette relation peut être reproduite avec des déviations étonnamment petites d'un jour à l'autre (voir fig. 4), mais elle peut ensuite changer de niveau dans les expériences suivantes par des raisons inexplicables. La relation était indépendante selon que la traction s'exerçait contre le dynamomètre ou contre un poids maintenu au-dessus d'une poulie (fig. 5). Elle semblait être aussi la même si la traction était exercée par les bras et les mains (fig. 6).

On a donc conclu que le rapport  $\mu\text{V}/\text{kp}$ , déterminé avant et après chaque série d'actions de lever, pourrait être employé comme courbe de calibration pour déterminer la force exercée par les muscles dorsaux pour lever (maintenir) des poids par les bras dans la position fléchie en avant à 45°.

La Fig. 7 montre le résultat d'une expérience individuelle chez un sujet. On peut voir que le fait de conserver simplement le corps dans la position fléchie en avant à 45°, sans aucun poids aux bras librement suspendus exige une force des muscles dor-

to a backward directed pull in the height of the shoulders of 9.5 kp. Carrying loads in the hands in this position increases the demand for force from the back muscles, as shown with loads up to 47.5 kp.

It is noteworthy that the force in the back muscles does not increase rectilinearly with the weight carried in the hands but tends to level off at the higher loads. As the weight attacks the body at an angle of 45° the component acting perpendicular to the body must be:  $\text{weight} \times \cos 45^\circ = \text{weight}$

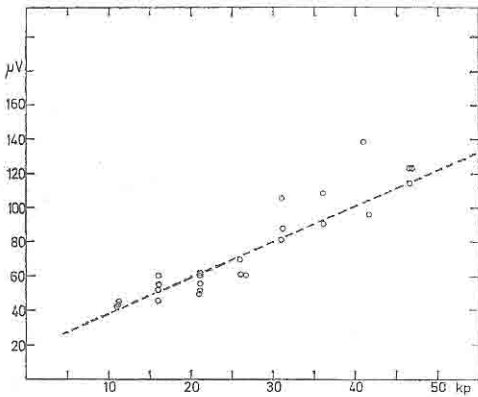


Fig. 5.

Mean peak voltages from integrated emg.s of back muscles while holding weights over a pulley by horizontal strap around the shoulders. Dotted line: mean curve from fig. 4.

Voltages maximum moyens de «emg.s» intégrés des muscles dorsaux supportant des poids liés à une poulie par une courroie horizontale autour des épaules. Ligne pointée: la courbe moyenne de la fig. 4.

$\times 0.7$ . This theoretical value is shown in fig. 7 as a straight line. It is further seen that all the experimental values lie below this line.

In fig. 8 are shown the results from corresponding measurements on 13 subjects, 6 females and 7 males. In order to facilitate comparison, the individual curves are drawn with the activity in the unloaded, 45°-posi-

saux qui correspond à une traction directe de 9.5 Kp vers l'arrière à la hauteur des épaules. Le fait de transporter des poids dans les mains dans cette position exige plus de force de la part des muscles dorsaux comme il est montré avec des poids jusqu'à 47.5 kp.

Il est remarquable que la force n'augmente pas de façon rétiligne dans les muscles dorsaux, quand le poids est transporté dans les mains mais tend à se niveler avec des charges plus grandes. Comme le poids agit sur le corps à un angle de 45°, la composante qui agit perpendiculairement au

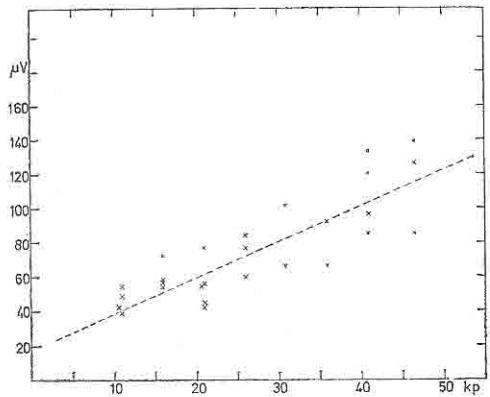


Fig. 6.

As fig. 5, weight held in outstretched arms.

Comme dans la fig. 5, mais avec le poids supporté avec les bras étendus.

corps doit être:  $\text{poids} \times \cos 45^\circ = \text{poids} \times 0.7$ . Cette valeur théorique est montré dans la fig. 7 comme une ligne droite. D'ailleurs on observe que toutes les valeurs expérimentales se trouvent au-dessous de cette ligne.

Dans la fig. 8 sont montrés les résultats des mensurations correspondantes aux 13 sujets; 6 femmes et 7 hommes. En vue de faciliter la comparaison, les courbes individuelles sont tracées quand l'activité se

tion as origin. Each point is the mean of 2, respectively 8 to 9 single determinations, as shown by the size of the signatures. It is obvious, that with one exception all measured values lie below the theoretical values, and the more so the higher the load in the hands. The mean curve (dashed line) has much the same shape as the individual curve in fig. 7.

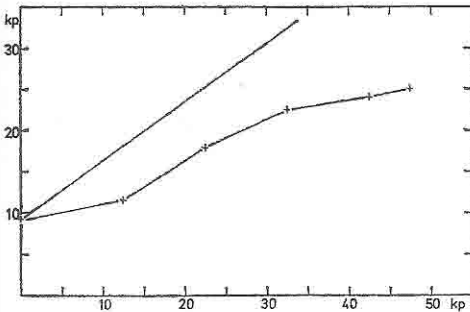


Fig. 7.

Lower curve: Pull exerted by the back muscles as estimated from the integrated emg.s, in relation to weights carried in the arms. 45° forward tilt. Upper straight line: theoretical pull, from  $\cos 45^\circ \times \text{load}$ .

Courbe inférieure: Des tractions exercées par les muscles dorsaux, calculées des «emg.s» intégrés en rapport avec des poids transportés par les bras avec une inclinaison (du tronc) de 45°. Ligne droite supérieure: traction théorique référée à  $\cos. 45^\circ \times \text{charge}$ .

### Discussion.

Our results have shown that the activity in the back muscles increases when the weight carried in the hands in a forward leaning position is increased. The increased activity, transformed to kp backward pull at the height of the shoulders, is — with one exception — smaller than what should

réalisée à partir de la position à 45° sans charge. Chaque point est la moyenne de 2, respectivement 8 à 9 détermination simples, comme il est montré par la grandeur des points noirs. Il est évident que, avec une exception, toutes les valeurs mesurées se trouvent au-dessous des valeurs théoriques, autant plus que la charge dans les mains est plus grande. La courbe moyenne (ligne en traits) présente une forme semblable à la courbe individuelle dans la fig. 7.

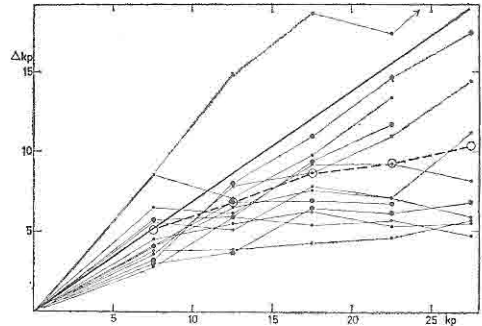


Fig. 8.

Increase in pull of back muscles over that obtained in the 45° forward tilted position without load, in relation to load carried in arms. 7 males, 6 females. Small dots: average of 2, larger dots: average of 8-9 single experiments. Circles and dashed line: mean values. Thick straight line: Theoretical value,  $\cos 45^\circ \times \text{load}$ .

Traction augmentée des muscles dorsaux au-dessus de celle obtenue dans la position inclinée de 45° en avant, sans charge, en rapport avec la charge transportée par les bras. 7 hommes et 6 femmes. Petits points: moyenne de 2 points plus grands; moyenne de 8-9 expériences simples. Cercles et ligne en traits: valeurs moyennes. Ligne droite épaisse. Valeur théorique,  $\cos. 45^\circ \times \text{charge}$ , poids maximum qui permettent de maintenir le dos droite et incliné de 45° en avant.

### Discussion

Nos résultats ont montré que l'activité des muscles dorsaux augmente quand le poids transporté par les mains est augmenté en position fléchie en avant. L'augmentation de l'activité transformée en traction en arrière, Kp. à la hauteur des épaules, est plus petite — avec une exception — de

be expected from theory, and increases less than in proportion to the weight. It is easy to understand that the activity in the back muscles can be *larger* than expected, e.g. if the subject overextends his back while lifting. But generally, under the conditions of the experiments there seems to be some force that helps the back muscles in resisting the ventrally directed pull on the back. Such a force might have been the passive resistance of ligaments etc. in the spine, as it has been shown repeatedly (e.g. *Floyd and Silver, 1955*) that in a forward curved back the muscles may be silent, even under heavy load. However, in the present experiments great care was taken to insure that the subjects maintained a normal lumbar lordosis, so this explanation can be ruled out.

Another possibility might be, that the heavily compressed discs under load resisted forward bending of the spine better than when not loaded. The main part of the compressing forces comes from the back muscles, the line of attack of which close to being parallel with the spine. It should, therefore, also be obtained in the experiments in which weights were held in the hands with a string over a pulley, but these experiments gave results in line with those on the dynamometer (cf. fig. 6).

*Morris et al (1961)* pointed out and later demonstrated that the pressure in the thoracic and abdominal cavities increased during lifting operations and that this phenomenon might serve to alleviate the strain on the back muscles by distributing the load over a larger surface lying ventrally to the spine.

The increased abdominal pressure was accompanied by an increased activity in the abdominal muscles. In the present experiments the electrical activity of the muscles in the abdominal wall was recorded simultaneously with that of the back muscles. We found the activity very low, even in experiments in which concentric needle

ce que l'on pourrait espérer da la théorie, et augmente moins que proportionnellement au poids. Il est facile de comprendre que l'activité des muscles dorsaux peut être *plus grande* de ce que l'on peut l'espérer p. ex. si le sujet étend de trop le tronc pendant l'action de lever. Mais, généralement, dans les conditions des expériences, il paraît exister une force qui aide les muscles dorsaux à résister à la traction de direction ventrale sur le dos. Une telle force pourrait être la résistance passive des ligaments, etc. dans la colonne, comme il a été montré plusieurs fois (p. ex. *Floyd and Silver, 1955*) que dans un dos courbe en avant les muscles dorsaux peuvent être silencieux, même sous une lourde charge. Cependant comme dans les expériences présentes on a pris grand soin de s'assurer que les sujets maintenaient une lordose lombaire normale, cette explication peut être écartée.

Une autre possibilité pourrait être que les disques lourdement comprimés sous la charge résisteraient mieux par la flexion en avant de la colonne, que quand celle-ci n'est pas chargée. La partie principale des forces de compression provient des muscles dorsaux dont la ligne d'action est presque parallèle à la colonne. Cela serait donc obtenu, aussi, dans les expériences dans lesquelles des poids seraient portés dans les mains avec un fil passant par une poulie, mais ces expériences ont donné des résultats semblables à ceux obtenus avec le dynamomètre (voir fig. 6).

*Morris et col. (1961)* ont indiqué, et plus tard démontré que la pression dans les cavités thoracique et abdominale augmentait pendant les actions de lever et que ce phénomène pourrait servir à alléger l'effort des muscles dorsaux en distribuant la charge sur une surface plus large qui serait ventrale par rapport à la colonne.

La pression abdominale augmentée était accompagnée de l'activité accrue des muscles abdominaux. Dans les expériences présentes l'activité électrique des muscles de la paroi abdominale a été enregistrée simultanément à celle des muscles dorsaux. Nous avons trouvé l'activité très basse, même dans les expériences pendant lesquelles des élec-

electrodes were placed in the obliquus externus. It did, however, increase with increasing weights in the hands and thus may indicate an increasing abdominal pressure.

Direct measurements of this pressure by means of a balloon in the ventricle, also showed increasing abdominal pressure when weights were held, but only when the breath was held in an inspiratory position, not during breathholding in an expiratory position or during free breathing (details of these experiments will be published separately by *Mark Avoykyiri*). It is quite possible, therefore, that the reason why the force exerted by the back muscles in carrying loads is less than expected is the supporting action of the abdominal cavity, as suggested for heavy lifting by *Morris et al.*

When this effect is noticed only when the loads were carried in a box, hanging vertically down in the arms, and not when corresponding weights were held in the hands by a string over a pulley, the difference may be due to the differences in transmission of the pulls to the truncus.

With vertical arms and 45° forward leaning truncus, part of the gravitational pull will press down on the rib cage via the shoulder yoke and thus be able to create and utilize a pressure in the cavities. With the arms extended perpendicularly to the truncus no such downward directed pressure is created, and the spine, therefore, will receive no support from the intra-abdominal pressure.

In conclusion it must be stated that there is a correlation between the weight that is carried in the hands in a forward inclined position and the force that the muscles of the back must develop. As this force — probably because of the supporting action of the intra-abdominal pressure — is less than what should be expected, it should be safe to estimate that people with otherwise normal backs, are able to hold loads (inclusive weight of head, arms and part of the trunk) weighing up to 140 % (100/

trodes d'aiguille, concentriques, étaient placés sur l'oblique externe. Elle a cependant augmenté avec des poids plus lourds dans les mains et cela peut indiquer l'augmentation de la pression abdominale.

Des mensurations directes de cette pression, au moyen d'un ballon dans le ventricule, a aussi montré une pression abdominale accrue quand on tient des poids, mais seulement quand la respiration était retenue en position inspiratoire, non pendant une position expiratoire ou en respirant librement (les détails de ces expériences seront publiés séparément par *Mark Avoykyiri*). Il est donc bien possible que la raison par laquelle la force exercée par les muscles dorsaux dans le transport de charges est moindre que l'on peut l'espérer, réside dans l'action de support de la cavité abdominale, comme cela a été suggéré pour le lever de poids lourds par *Morris et col.*

Quand cet effet est observé seulement quand les charges sont transportées dans une boîte suspendue verticalement par les bras et non quand les poids correspondants sont tenus par les mains par un fil passant par une poulie, la différence peut être due aux différences dans la transmission des tractions au tronc.

Avec les bras verticaux et le tronc incliné en avant à 45° une partie de la traction gravitique doit faire pression vers le bas sur la cage thoracique au moyen du «joug» de l'épaule et ainsi créer et utiliser la pression dans les cavités. Avec les bras étendus perpendiculairement au tronc cette pression directement vers le bas n'est pas créée et la colonne ne recevra donc aucun support de la pression intra-abdominale.

On devra déclarer en conclusion qu'il existe une corrélation entre le poids qui est transporté dans les mains en position inclinée en avant et la force que les muscles du dos doivent développer. Comme cette force — probablement à cause de l'action de support de la pression intra-abdominale — est moindre de ce que l'on devrait l'espérer, on peut seulement calculer que les personnes avec des dos normaux, sont capables de soutenir des charges (y inclus le poids de la tête, des bras et d'une partie du tronc)

cos 45°) of their maximum isometric back strength, measured at the height of the shoulders, provided the spine is held in a normal position and the trunk is not inclined more than about 45° forwards in the hips.

For long lasting holding in this position, the figures must be reduced according to the curves published by e.g. *Monod* (1956) and *Rohmert* (1960). For frequently repeated lifts it must correspondingly be reduced with a factor 0.8 to 0.6, dependent on the frequency (10 to 30 per minute, cf. *Molbeck* (1963), and in practical, daily jobs a further reduction to half of these maximal values must be recommended in order to eliminate the weight of head, arms and trunk and to obviate chronic fatigue.

pesant jusqu'à 140 % (100/cos 45°) de la force isométrique maximum du dos, mesurée à la hauteur des épaules, lorsque la colonne est maintenue dans une position normale et si le tronc n'est pas incliné plus que 45° en avant par rapport aux hanches.

Pour le maintien prolongé dans cette position, les nombres doivent être réduits d'accord avec les courbes publiées p. ex. par *Monod* (1956) et *Rohmert* (1960). Pour les leviers répétés et fréquents ils doivent être proportionnellement réduits de 0.8 à 0.6, dépendant de la fréquence (10 à 30 par minute p. ex. *Molbeck* (1963) et dans les occupations pratiques journalières doit être recommandé une réduction supplémentaire de moitié de ces valeurs maximum, de façon à éliminer le poids de la tête, des bras et du tronc, et d'éviter la fatigue chronique.

*Maximum and allowable weights to hold. Straight back, inclined 45° forward.*

*Poids maximum qu'on pourra permettre de maintenir. Le dos droit et incliné à 45° en avant.*

	Maximum (inch. weight of trunk etc.)	Allowable single lift	Repeated lifts (10-30 times/min.)	Holding 1 min.
% of isometric back strength	140	70	55-40	35-30

The rule must then be: About 70 % of maximum isometric back strength for single, short lasting lifts; 55 to 40 % of isometric strength for lifts repeated 10 to 30 times per minute; and 30-35 % for continued holding of about 1 min's duration. For an average man, 30-40 years old, 175 cm tall, back strength 90 kp, (cf. *Asmussen & Heeboll-Nielsen* 1961) this would give: Maximum weight: about 125 kp. Allowable weights in practical jobs: Single, short lasting lifts: about 63 kp; repeated lifts: 50 - 36 kp, holding 1 min: 32 - 27 kp. For an average woman of same age, 165 cm tall, back strength: 61 kp the same figures would be: Maximum: about 85 kp; allowable single lifts: 42 kp; repeated lifts: 33-24 kp; holding 1 min. 21 - 18 kp. (Cf. table 1). It must be emphasized that these estimates are based on the assumption that the back muscles should be able to

La règle doit être: environ 70 % de la force dorsale isométrique maximum pour les leviers simples et courts; 55 à 40 % de force isométrique pour les leviers répétés de 10 à 30 fois par minute, et 30-35 % pour le maintien d'une minute de durée, environ. Pour l'homme moyen de 30-40 ans, taille de 175 cm. avec une force dorsale de 90 kp (p. ex. *Asmussen & Heeboll-Nielsen* 1961) cela donnerait: Poids maximum: environ 125 kp. Poids permis en occupations pratiques: Les leviers simples et courts: environ 63 kp; des leviers répétés: 50-36 kp, en les supportant pendant 1 min. 32-37 kp. Pour une femme moyenne du même âge, taille 165 cm, force dorsale: 61 kp, les nombres seraient: Maximum 85 kp environ; les leviers simples permis: 42 kp; leviers répétés: 33-24 kp; maintien de 1 min.: 21-28 kp (p. ex. tableau 1). On doit souligner que ces calculs sont basés dans

carry the load. Weaknesses in other muscle groups — hands, arms, legs — may reduce these predictions.

la supposition que les muscles dorsaux devraient être capables de transporter le poids mais la faiblesse d'autres groupes musculaires — mains, bras, jambes — peut réduire ces prévisions.

*References:*

- Asmussen, E., K. Heeboll-Nielsen & Sv. Molbech:* Methods for evaluation of muscle strength. Comm. Dan. Nat. Ass. for Infant. Paral. no. 5. 1959.
- Asmussen, E. & K. Heebol-Nielsen:* Isometric muscle strength of adult men and women. *Ibidem*, no. 11, 1961.
- Davis, P. R., J. D. Troup & J. H. Burnard:* Movements of the thoracic and lumbar spine when lifting: a chrono — cyclophotographic study. *J. Anat.*, London, 99, 13-26, 1965.
- Floyd, W. F. & P. H. S. Silver:* The function of the erectores spinae muscles in certain movements and postures of man. *J. Physiol.* 129, 184-203, 1955.
- Molbech, Sv:* Average percentage force at repeated maximal isometric muscle contractions at different frequencies. Comm. Dan. Nat. Ass. for Infant. Paral. no. 16, 1962.
- Monod, H.:* Contribution à l'étude du travail statique. Thèse med. 124 pp. Paris 1956.
- Morris, J. M., S. B. Lucas & B. Bresler:* Role of the trunk in stability of the spine. *J. Bone and Joint Surg.* 43-A, 327-351, 1961.
- Nachemson, A. & J. M. Morris:* In vivo measurements of intradiscal pressure. *J. Bone and Joint Surg.* 46-A, 1077-1092, 1964.
- Perey, O.:* Fracture of the vertebral end-plate in the lumbar spine. *Acta orthop. Scand. Suppl.* 25, 1957.
- Rohmert, W.:* Ermittlung von Erholungspausen für statische Arbeit des Menschen. *Int. Z. angew. Physiol.* 18, 123-164, 1960.