

**Konsumsi energi berdasarkan  
kapasitas oksigen terukur**

- Konsumsi energi dapat diukur secara tidak langsung dengan mengukur konsumsi oksigen. Jika satu liter oksigen dikonsumsi oleh tubuh, maka tubuh akan mendapatkan 4,8 kcal energi.

$$R = \frac{T(B - S)}{B - 0,3}$$

- Dimana :

R : Istirahat yang dibutuhkan dalam menit(*Recovery*)

T : Total waktu kerja dalam menit

B : Kapasitas oksigen pada saat kerja (liter/menit)

S : Kapasitas oksigen pada saat diam (liter/menit)

**Konsumsi energi berdasarkan  
denyut jantung (*heart rate*)**

**Basal metabolisme - seringkali juga disebut sebagai "metabolisme dasar" - besar/kecilnya akan ditentukan oleh berat badan, tinggi dan/ atau jenis seks seseorang. Sebagai acuan dasar, metabolisme untuk :**

- Laki-laki, dewasa, berat 70 Kg = 1,2 Kcal/menit atau sekitar 1.700 Kcal/24 jam.**
- Wanita, dewasa, berat 60 Kg = 1.0 Kcal/menit atau sekitar 1.450 Kcal/24 jam.**

**Kepastian energi yang mampu dihasilkan oleh seseorang juga akan dipengaruhi oleh faktor usia. Di sini kapasitas maksimum seorang pekerja adalah pada usia antara 20-30 tahun (100 %). Dimana dengan meningkatnya usia, kemampuan tersebut juga akan menurun dengan prosentase sebagai berikut :**

<b>Usia ( Tahun )</b>	<b>Prosentase Kemampuan ( % )</b>
<b>20 - 30</b>	<b>100%</b>
<b>40</b>	<b>96%</b>
<b>50</b>	<b>90%</b>
<b>60</b>	<b>80%</b>
<b>65</b>	<b>75%</b>

- Jika denyut nadi dipantau selama istirahat, kerja dan pemulihan, maka *recovery* (waktu pemulihan) untuk beristirahat meningkat sejalan dengan beban kerja. Dalam keadaan yang ekstrim, pekerja tidak mempunyai waktu istirahat yang cukup sehingga mengalami kelelahan yang kronis. Murrel membuat metode untuk menentukan waktu istirahat sebagai kompensasi dari pekerjaan fisik :

$$R = \frac{T(W - S)}{W - 1,5}$$

- Dimana :
  - R : Istirahat yang dibutuhkan dalam menit (*Recovery*)
  - T : Total waktu kerja dalam menit
  - W : Konsumsi energi rata-rata untuk bekerja dalam kkal/menit
  - S : Pengeluaran energi rata-rata yang direkomendasikan dalam kkal/menit (biasanya 4 atau 5 Kkal/menit)

# Contoh soal

- **Dari suatu aktivitas kerja memerlukan energi rata-rata sebesar 5.2 Kcall/menit selama periode waktu 1 jam. Standard beban kerja normal = 4 Kcal/menit akan memerlukan waktu istirahat sebesar :**

# PENYELESAIAN

$$R = \frac{T(\bar{K} - S)}{\bar{K} - 1.5} (\text{menit})$$

$$R = \frac{60(5.2 - 4.0)}{5.2 - 1.5} = \frac{72}{3.7} = 19.45 \text{menit}$$

# **Menentukan Waktu Standar Dengan Metode Fisiologis**

- Pengukuran fisiologi dapat dipergunakan untuk membandingkan cost energy pada suatu pekerjaan yang memenuhi waktu standar, dengan pekerjaan serupa yang tidak standard, tetapi perbandingan harus dibuat untuk orang yang sama.
- hasilnya mungkin beberapa orang yang memiliki performansi 150% hingga 160% menggunakan *energi expenditure* sama dengan orang yang performansinya hanya 110% sampai 115%.
- Waktu standar ditentukan untuk tugas, pekerjaan yang spesifik dan jelas definisinya. Dr. Lucien Brouha telah membuat tabel klasifikasi beban kerja dalam reaksi fisiologi, untuk menentukan berat ringannya suatu pekerjaan, seperti terlihat pada tabel berikut ini:

# Tabel Jenis Pekerjaan Dengan Konsumsi Oksigen

<b>WORK LOAD</b>	<b>OXYGEN CONSUMPTION (Liter/Minute)</b>	<b>ENERGY EXPENDITURE (Calories/minute)</b>	<b>HEART RATE DURING WORK (Beats per minute)</b>
<b>Light</b>	<b>0.5 – 1.0</b>	<b>2.5 – 5.0</b>	<b>60 – 100</b>
<b>Moderate</b>	<b>1.0 – 1.5</b>	<b>5.0 – 7.5</b>	<b>100 – 125</b>
<b>Heavy</b>	<b>1.5 – 2.0</b>	<b>7.5 – 10.0</b>	<b>125 – 150</b>
<b>Very Heavy</b>	<b>2.0 – 2.5</b>	<b>10.0 – 12.5</b>	<b>150 - 175</b>

# **Penilaian Beban Kerja Berdasarkan Denyut Nadi Kerja**

- Pengukuran denyut nadi selama bekerja merupakan suatu metode untuk menilai *cardiovascular strain*.
- *Salah satu peralatan yang dapat digunakan untuk menghitung denyut nadi adalah telemetri dengan menggunakan rangsangan ElectroCardio Graph (ECG). Apabila tidak tersedia, maka dapat dicatat secara manual memakai stopwatch dengan metode 10 denyut (Kilbon, 1992).*

- *Dengan metode tersebut dapat dihitung denyut nadi kerja sebagai berikut:*

$$\text{Denyut Nadi (Denyut/Menit)} = \frac{10 \text{ Denyut}}{\text{Waktu Penghitungan}} \times 60$$

- Denyut nadi untuk mengestimasi indek beban kerja fisik terdiri dari beberapa jenis yang didefinisikan oleh Grandjean (1993) :

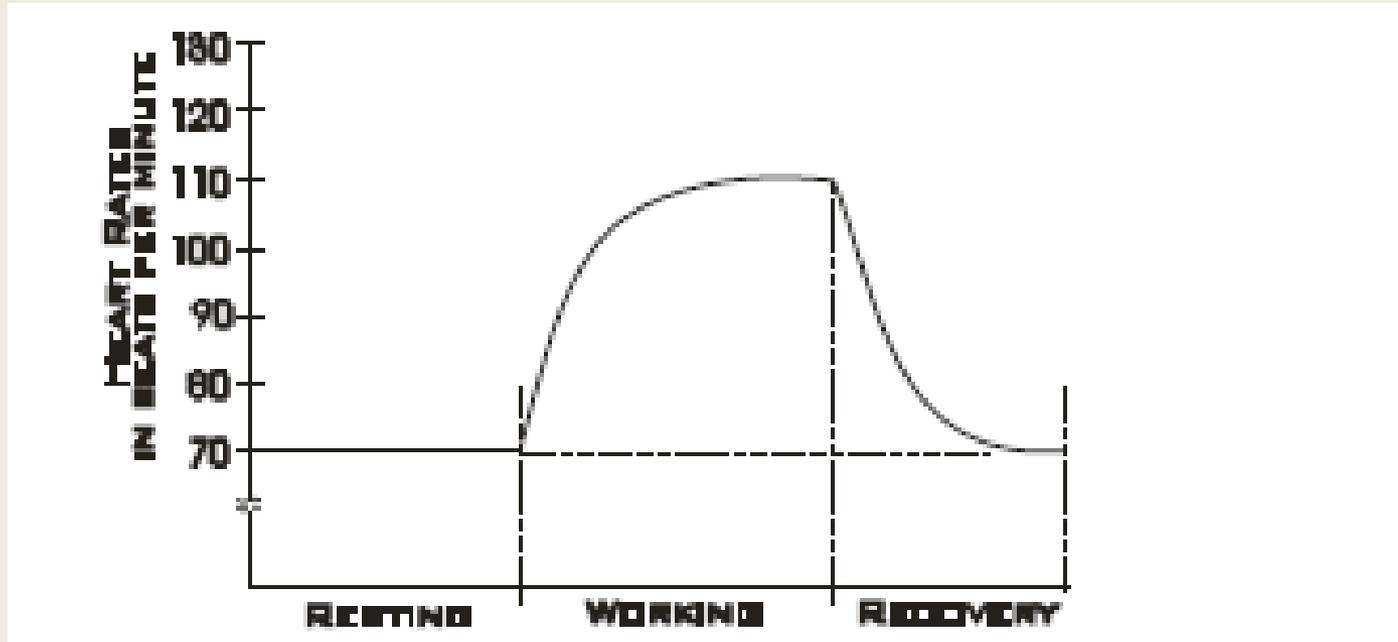
1. Denyut nadi istirahat adalah rerata denyut nadi sebelum pekerjaan dimulai.
2. Denyut nadi kerja adalah rerata denyut nadi selama bekerja.
3. Nadi kerja adalah selisih antara denyut nadi istirahat dan denyut nadi kerja.

- Peningkatan denyut nadi mempunyai peran yang sangat penting dalam peningkatan *cardiac output* dari istirahat sampai kerja maksimum.
- *Manuaba & Vanwonderghem (1996)* menentukan klasifikasi beban kerja berdasarkan peningkatan denyut nadi kerja yang dibandingkan dengan denyut nadi maksimum karena beban kardiovaskular (*cardiovascular load = % CVL*) yang dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\% CVL = \frac{100 \times (\text{denyut nadi kerja} - \text{denyut nadi istirahat})}{\text{denyut nadi maksimum} - \text{denyut nadi istirahat}}$$

- **Denyut nadi maksimum = 220 – umur (Astrand and Rodahl, 1977)**
- Dari hasil perhitungan % CVL tersebut kemudian dibandingkan dengan klasifikasi sebagai berikut
  - $X \leq 30\%$  = tidak terjadi kelelahan
  - $30 < X \leq 60\%$  = diperlukan perbaikan
  - $60 < X \leq 80\%$  = kerja dalam waktu singkat
  - $80 < X \leq 100\%$  = diperlukan tindakan segera
  - $X > 100\%$  = tidak diperbolehkan beraktivitas

Denyut jantung pada berbagai macam kondisi kerja dapat dilihat dengan grafik antara hubungan denyut jantung dengan waktu sebagai berikut :



Gambar. Laju Detak Jantung

# Contoh soal:

- Jika diketahui seseorang yang mempunyai detak jantung 60 detak/menit sama dengan membutuhkan energy expenditure 2,5 calories per minute.
- Maka, berapakah energy expenditure yang dibutuhkan oleh orang yang mempunyai detak jantung 77 detak/menit ? Analisislah dengan menggunakan interpolasi!

$$\frac{60 - 77}{60 - 100} = \frac{2.5 - x}{2.5 - 5}$$

$$\frac{-17}{-40} = \frac{2.5 - x}{-2.5}$$

$$42.5 = -100 + 40x$$

$$142.5 = 40x$$

$$X = 3.56$$

- Jadi, *energy expenditure yang diperlukan adalah 3.56 calories per minute*

***FATIGUE***

- ***Fatigue*** adalah suatu kelelahan yang terjadi pada syaraf dan otot-otot manusia sehingga tidak berfungsi lagi sebagaimana mestinya.
- **Kelelahan dipandang dari sudut industri** adalah pengaruh dari kerja pada pikiran dan tubuh manusia yang cenderung untuk mengurangi kecepatan kerja mereka atau menurunkan kualitas produksi, atau kedua-duanya dari performansi optimum seorang operator.

**Ralph M Barnes (1980) menggolongkan kelelahan ke dalam 3 golongan tergantung dari mana hal ini dilihat yaitu:**

1. Merasa lelah
2. Kelelahan karena perubahan fisiologi dalam tubuh
3. Menurunkan kemampuan kerja.

**Ketiga tersebut pada dasarnya berkesimpulan sama bahwa:**

kelelahan terjadi jika kemampuan otot telah berkurang dan lebih lanjut lagi mengalami puncaknya bila otot tersebut sudah tidak mampu lagi bergerak (kelelahan sempurna).

# Faktor-Faktor yang Mempengaruhi *Fatigue* :

1. Besarnya tenaga yang diperlukan
2. Kecepatan
3. Cara dan sikap melakukan aktivitas
4. Jenis Olah Raga
5. Jenis Kelamin
6. Umur

# *Fatigue* dapat diukur dengan :

- Mengukur kecepatan denyut jantung dan pernapasan
- Mengukur tekanan darah, peredaran udara dalam paru-paru, jumlah oksigen yang dipakai, jumlah CO<sub>2</sub> yang dihasilkan, temperatur badan, komposisi kimia dalam urin dan darah
- Menggunakan alat uji kelelahan *Riken Fatigue*.

# CONTOH SOAL

Laki-laki dengan umur 20 tahun mempunyai denyut istirahat sebesar 78 pulse/menit dan denyut kerja sebesar 85 pulse/menit. Berapa besar %CVL dari pekerjaan tersebut dan

# PENYELESAIAN

$$\% \text{ CVL} = \frac{100 \times (\text{Denyut nadi kerja} - \text{denyut nadi istirahat})}{\text{Denyut nadi maksimum} - \text{Denyut nadi istirahat}}$$

$$\text{Denyut nadi maksimum} = 220 - \text{umur} = 220 - 20 = 200$$

$$\% \text{ CVL} = \frac{100 \times (85 - 78)}{200 - 78} = \frac{700}{122} = 5,74\%$$

Berdasarkan hasil % CVL diatas, disimpulkan bahwa pekerjaan tersebut tidak menimbulkan kelelahan.

# Latihan soal:

- Seorang karyawan dengan umur 35 tahun mempunyai denyut istirahat sebesar 95 pulse/menit dan denyut kerja sebesar 135 pulse/menit. Berapa besar %CVL dari pekerjaan tersebut dan berikan rekomendasinya

Penyelesaian:

# Latihan Soal

- Seorang karyawan dengan umur 36 tahun mempunyai denyut nadi istirahat sebesar 95 pulse/menit dan denyut nadi kerja sebesar 155 pulse/menit. Berapa besar %CVL dari pekerjaan tersebut dan berikan rekomendasi!

# Modifikasi cara kerja pengangkatan beban secara konvensional (a) menuju ke cara kerja yang lebih ergonomis (b)



(a)



(b)

# Faktor Kelelahan Pengukuran, dan Pengaturan Jadwal Waktu Kerja

- **Kelelahan akibat kerja seringkali diartikan sebagai proses menurunnya efisiensi, performans kerja, dan berkurangnya kekuatan/ ketahanan fisik tubuh untuk terus melanjutkan kegiatan yang harus dilakukan.**

# **Gejala-gejala yang tampak jelas akibat lelah ini dapat dicirikan seperti :**

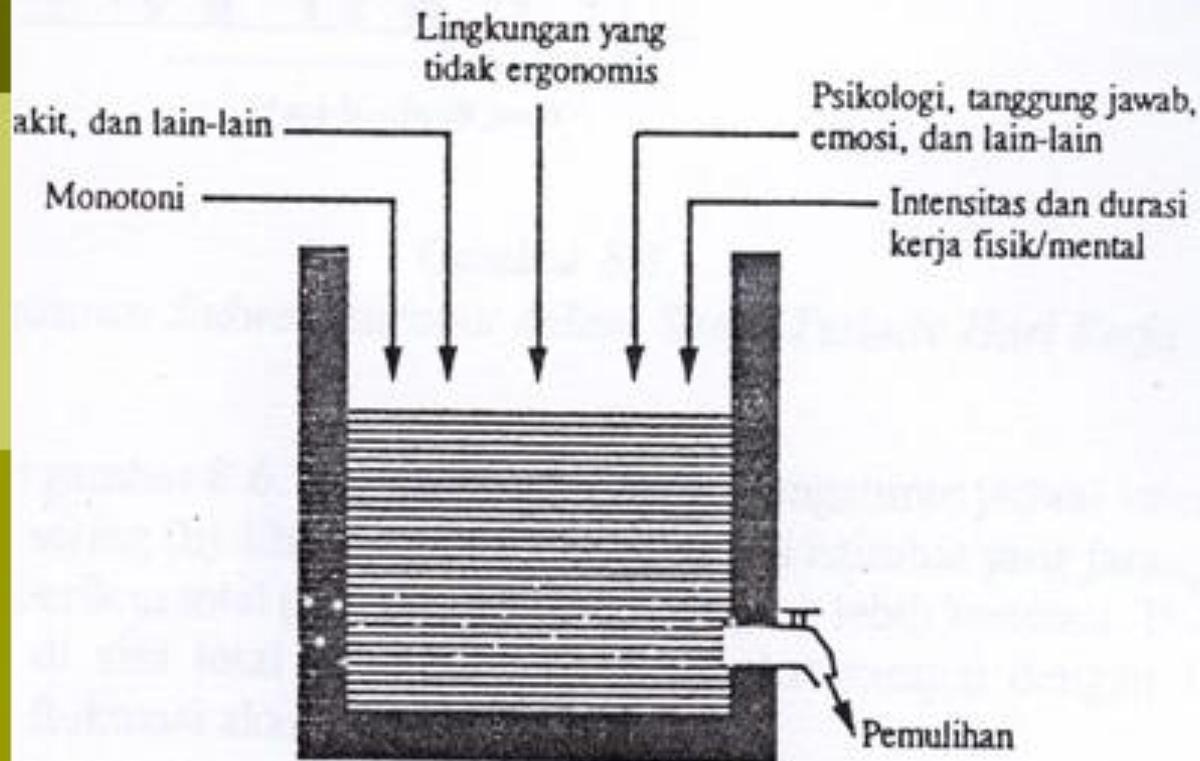
- Meningkatnya emosi dan rasa jengkel sehingga orang/kurang toleran atau a-sosial terhadap orang lain.**
- Munculnya sikap apatis terhadap pekerjaan.**
- Depresi yang berat, dan lain-lain.**

- **Problematis keletahan** akhirnya membawa manajemen untuk selalu berupaya mencari jalan keluarnya. Selain memberikan waktu istirahat yang cukup untuk proses pemulihan (recovery) kondisi fisik yang letah.
- **Beberapa penelitian telah berhasil membuktikan bahwa** pengaturan waktu kerja yang diselingi dengan beberapa kali waktu istirahat disamping juga perubahan periode waktu kerja bisa memberikan dampak perubahan terhadap efisiensi operator.

# Contoh :

- Dari suatu hasil penelitian ternyata dengan memperpendek jam kerja di pabrik dari 8 3/4 jam/hari menjadi 4 jam/hari akan bisa menghasilkan peningkatan prestasi 3% sampai 10%
- Kesimpulan yang bisa ditarik dalam hal ini adalah dengan memperpendek jam kerja harian akan menghasilkan kenaikan output per jam, sebaliknya *dengan* memperpanjang jam kerja harian akan menjurus memperlambat kecepatan (tempo) kerja yang akhirnya berakibat pada penurunan prestasi kerja perjamnya. Penurunan total prestasi kerja tersebut cenderung diakibatkan oleh penurunan kecepatan kerja akibat kelelahan yang menjadi faktor-faktor penyebab utamanya.

# Proses Akumulasi Kelelahan & Faktor faktor Penyebabnya



25



richt dij de zak  
plaatzen, de benen  
lichtjes gespreid



neerbuken, met rechte rug  
de zak rechtop zetten

26



de zak op de linker  
hoek wendelen en hem  
tegen de dij laten rusten

27



de zak vastnemen en vlak ophellen, steeds met rechte rug  
door middel van de knie en dank zij een zetje, de zak tot op  
het platform brengen.

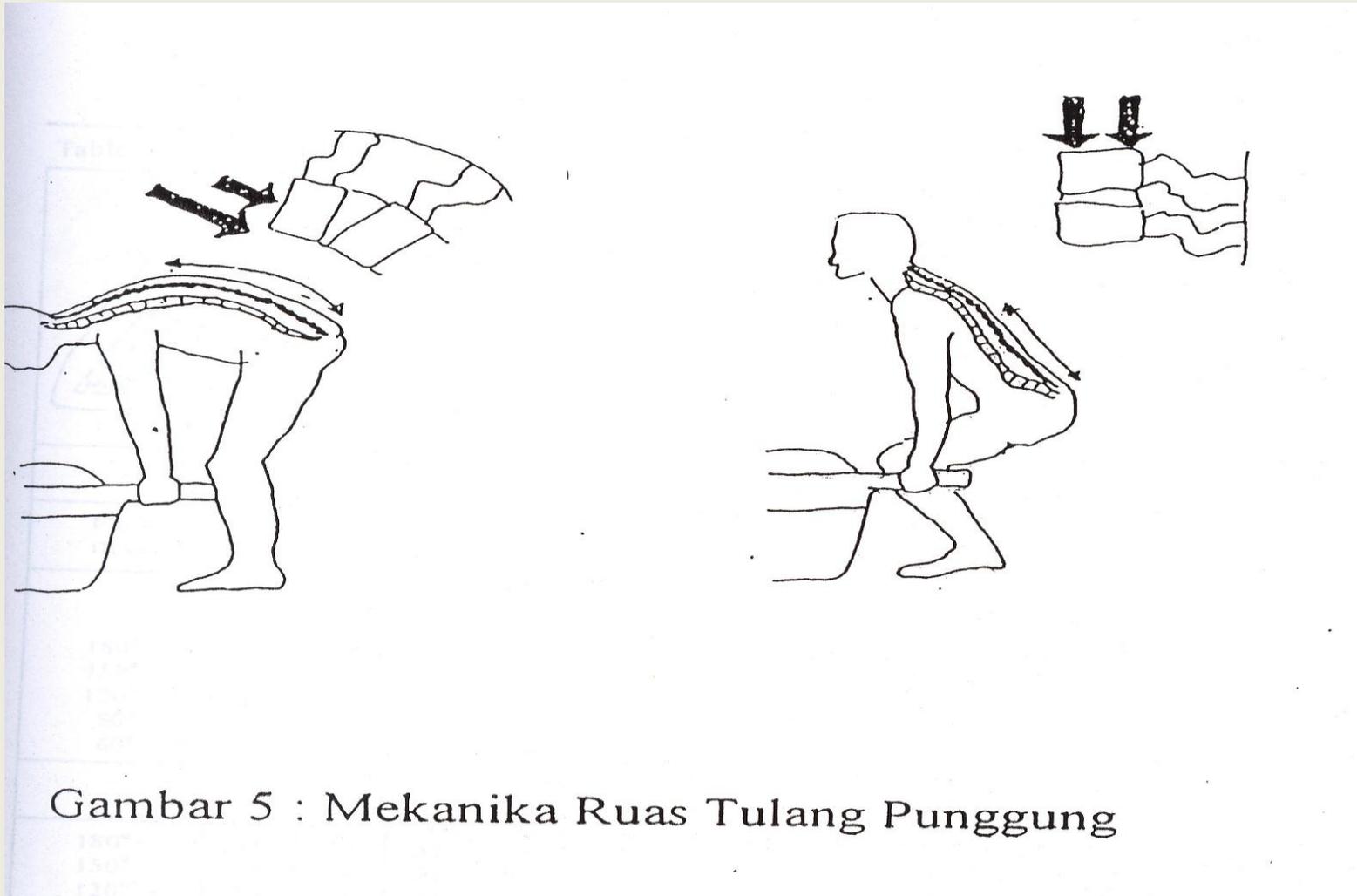
28



De zak in het midden vastnemen en  
door de knieën te buigen, steeds  
met rechte rug, de zak op de  
schouder wendelen



Zich recht zetten  
en de zak in evenwicht  
op de schouder plaatsen



Gambar 5 : Mekanika Ruas Tulang Punggung

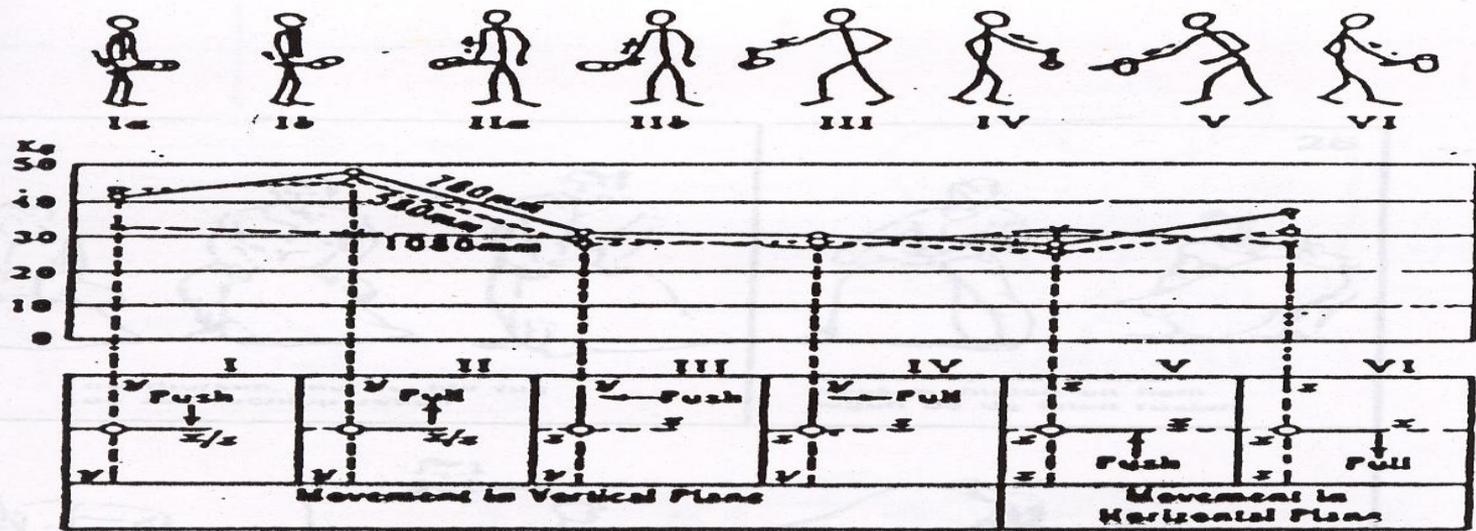


Figure 160 Results of the study of levers.

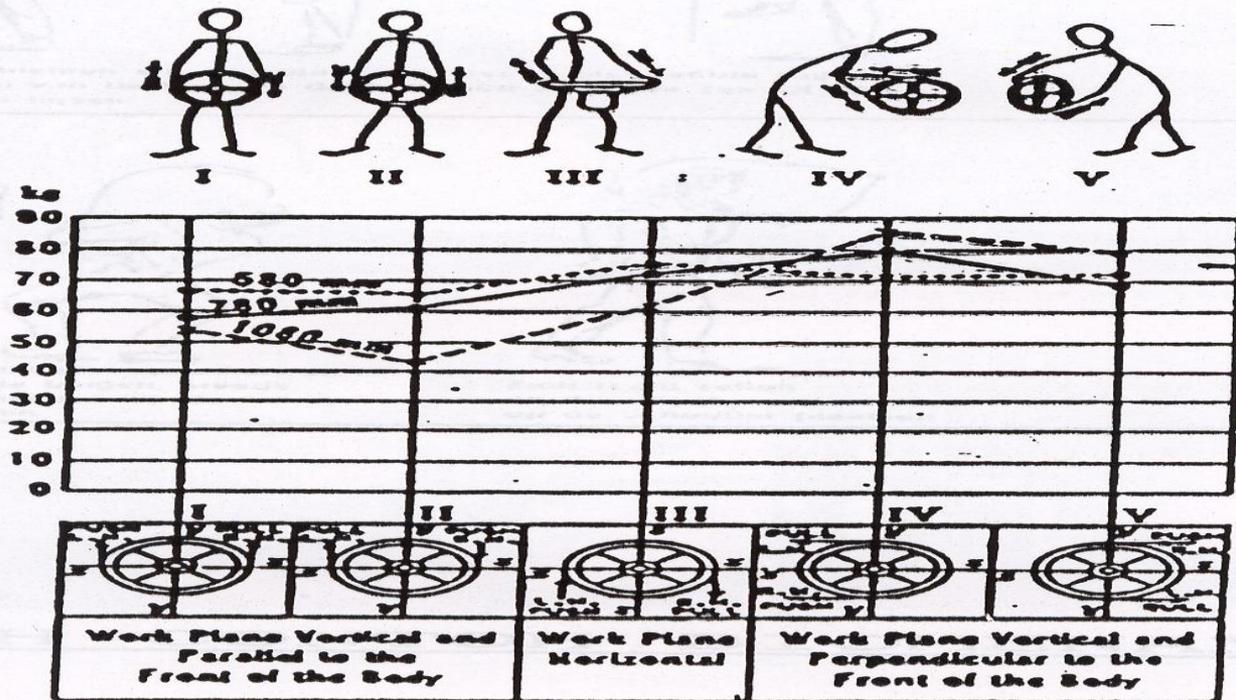


Figure 161 Results of the study of hand wheels.

**Thank You**