

# DİNLENİMDE VE EGZERSİZDE ENERJİ TÜKETİMİNİN ÖLÇÜLMESİ

PROF.DR.MİTAT KOZ

Vücutta serbestleyen enerjinin son ürünü  
ısıdır

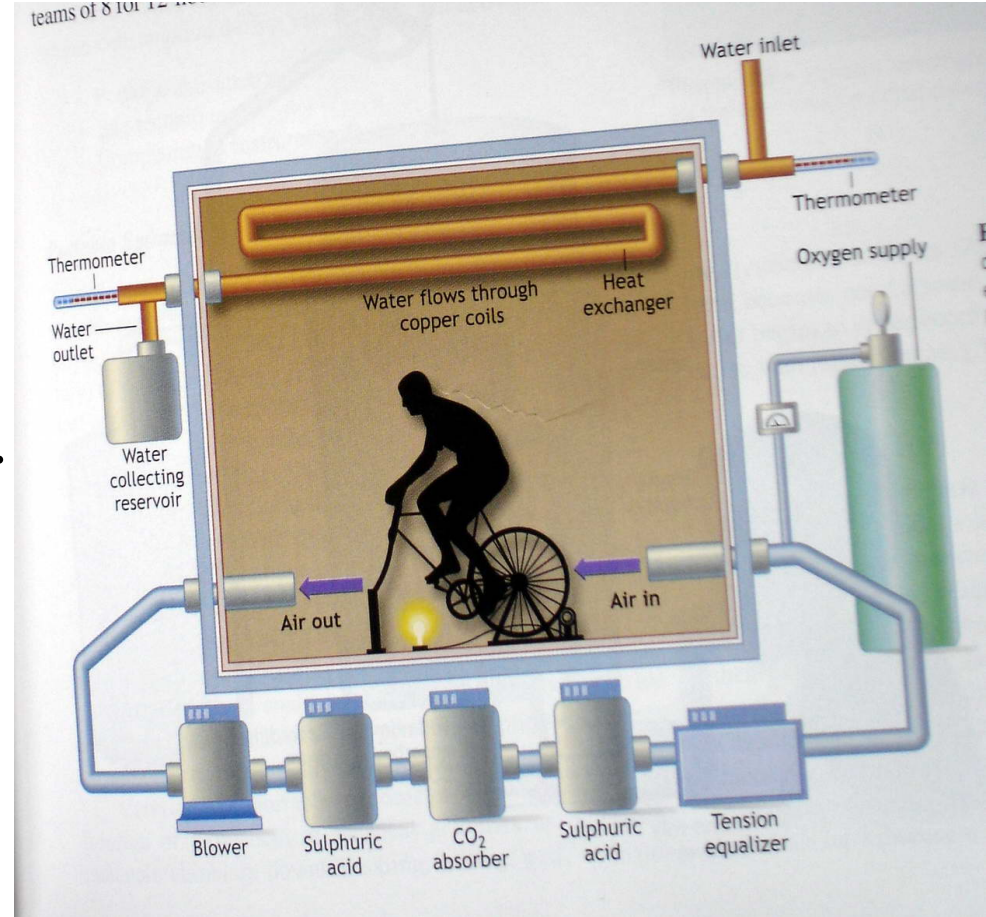
# Isı Üretimi-Enerji Tüketimi

## ?

- Diğer bütün metabolik olaylarda olduğu gibi yapılan egzersiz de ısı üretimine yol açtığı için ısı üretim hızı harcanan enerji ile doğru orantılıdır.
- Bu nedenle organizmanın ürettiği ısıyı ölçerek enerji tüketim hızını ve bunu bir egzersiz anında tekrarlayarak ta enerji kapasitesini ölçebiliriz.

# Direkt Kalorimetri ?

- Vücut ısı üretiminin doğrudan ölçümüne direkt kalorimetri denir.
- Direkt kalorimetri organizmanın ürettiği ısıyı ölçmenin en doğru yoludur.
- Ancak;  
direkt kalorimetrik ölçüm işlemi pahalı ve zahmetli bir iştir;



# Direkt Kalorimetrimin Zorlukları

- Komplike ekipman gerektirir, bunlar her yerde bulunamayabilir.
- Egzersiz anında vücudun ürettiği ısının tamamı dışarıya verilemeyebilir.
- Ölçüm anında kullanılan ekipmanlarda ısı üretir.
- Terleme ve terin buharlaşması cihazları etkileyebilir.

# İndirekt kalorimetri= Oksijenin enerji eşdeğeri

- Enerji tüketiminin % 95 i besinlerle oksijen arasındaki reaksiyonlardan kaynaklanır.
- Sonuç olarak bütün enerji metabolizması oksijen kullanımına bağlıdır.
- Bu nedenle kişinin oksijen tüketimi veya oksijen kullanım hızı ölçülerek enerji tüketimi indirekt olarak hesaplanabilir.
- Bu şekilde enerji tüketiminin bulunmasına indirekt kalorimetri denir.

# İndirekt Kalorimetri- Oksijen Tüketim Hızı $VO_2$

- Egzersiz yapan bireyin oksijen tüketim hızınının ( $VO_2$ ) ölçümünden enerji tüketimi hesaplanabilir. Buna indirekt kalorimetri yöntemi denir.
- $VO_2$  de “V” oksijen miktarını (Volüm) ifade ederken V nin üzerindeki nokta hızı yani birim zamandaki oksijen miktarını ifade etmek için kullanılır.

# Oksijenin enerji eşdeğeri

- 1 litre oksijen besinler ile metabolize edildiğinde ortaya çıkan enerji bellidir.
- Bu besin türüne göre değişir.
- Ortalama bir diyetle beslenen bir kimsede bu değer 4,825 kcal. Dir ve yaklaşık olarak 5 kcal kabul edilir.
- Buna oksijenin enerji eşdeğeri denir.
- Yani vücutta 1 l oksijen yakılması demek 5 kcal lik enerji harcanması demektir.



# Besinlerin enerjik eşdeğerleri

Besin adı	1 lt O <sub>2</sub> ile yakıldığında oluşan enerji kcal	1 gramı kalorimetride yakıldığında oluşan enerji kcal	1 gramı vücutta yakıldığında ortaya çıkan net enerji kcal
Karbonhidrat	5,05	4,10	4,02
Protein	4,46	5,65	4,20
Yağ	4,74	9,45	8,98
Alkol	4,86	7,1	7
Karışık Diyet	4,83	-	-

Sindirim esnasında bazı kayıplar olur; karbonhidrat % 2, yağ % 5, protein % 8 . İlaveten proteinlerin % 17 si idrarla kaybolur.

# Oksijen tüketiminin ölçümü ( $VO_2$ )

- Oksijen tüketimi  $VO_2$  ile ifade edilir.
- Besinler kalorimetri kabında 1 lt oksijen varlığında yakıldıklarında yaklaşık 5 kcal lik enerji verirler.
- Besinler gramları başına ele alındıklarında ise en fazla kaloriyi yağlar verir (yağ 9 kcal, protein ve karbonhidrat 4 kcal)

# VO<sub>2</sub> ölçümü-Aerobik Egzersiz

- VO<sub>2</sub> ölçümünün enerji tüketimini doğru bir şekilde yansıtması için egzersizin büyük bir bölümünün aerobik tarzda olması gerekmektedir.
- Çünkü anaerobik metabolizmanın olaya katılması enerji tüketiminin hesaplanmasında hatalara yol açar.

# VO<sub>2</sub> Ölçüm Birimi Nedir ?

- Ölçüm amacına bağılı olarak çeşitli standart ölçüm birimleri kullanılmaktadır.
- Oksijen tüketim hızınının mutlak birimi L/dk veya ml/dk dır. Bu şekilde ifade edilen VO<sub>2</sub> doğrudan enerji tüketim hızına çevrilebilir.
- Bu ifade şekli özellikle de ml/dk ile ifade şekli bisiklet yada kol ergometresi gibi vücut ağırlığının önemli bir faktör olmadığı egzersizlerin enerji maliyetinin hesaplanmasında kullanılır.

# VO<sub>2</sub> Ölçüm Birimleri

- “ml/kg/dk” bir diğer VO<sub>2</sub> ölçüm birimidir.
- Bu ifade şekli farklı vücut ağırlığındaki bireyleri karşılaştırmak ve koşu bandı, yürüyüş, koşu, basamak gibi vücut ağırlığının önemli olduğu aktivitelerin enerji maliyetinin hesaplanmasında vücut ağırlığının kilogramı başına oksijen tüketimini ifade etmek için kullanılır.

# $VO_{2 \max}$ Kavramı

- $VO_{2 \max}$  maksimal oksijen tüketim hızıdır ve kardiyorespiratuvar dayanıklılığın eskiden beri kabul edilmiş kriteridir.

# $VO_2$ Ölçümü

- $VO_2$  nin gerçek ölçümü açık devre spirometri adı verilen bir yöntem kullanılarak laboratuvar veya klinik ortamlarında yapılır.
- Açık devre spirometri sistemi toplanan solunum havasındaki  $O_2$  ve  $CO_2$  nin ölçümünü kapsar.
- Bu yöntemle  $VO_2$  ölçümüne direkt ölçüm de denir.

# VO2 nasıl ölçülür ?

- Douglas torbaları veya meteoroloji balonlarında toplanan solunum havasının manuel yöntemler ile analizi.
- 1970 li yıllarda yarı otomatik ve otomatik sistemler geliştirilmiştir
- Son yıllarda ise bilgisayar teknolojisi ile hafif, taşınabilir, hatta telemetrik yöntemler ile anında ölçümler yapılabilmektedir.



# $VO_2$ Hesaplanması; İndirekt Yol

- Oksijen tüketim hızının ( $VO_2$ ) ve maksimal oksijen tüketim hızının ( $VO_{2\ max}$ ) bu şekilde doğrudan ölçümü pahalı bir yöntem olduğundan çok kullanışlı değildir.
- Bu nedenle  $VO_{2\ max}$  direkt olarak ölçmek mümkün olmadığı zaman, submaksimal egzersizlerden elde edilen değerler yardımıyla ve çeşitli metabolik hesaplamalar kullanılarak indirekt olarak hesaplanabilmekte veya tahmin edilebilmektedir.

- Bu metabolik hesaplamalar ile ergometrik olmayan egzersiz şekilleri içinde enerji maliyetini hesaplamak veya tahmin etmek mümkündür.

# Egzersiz enerji maliyetinin ölçümü

- Yapılan egzersiz;
- Aerobik ?
- Anaerobik ?

# Anaerobik egzersiz...

- Egzersiz boyunca hem aerobik hem de anaerobik sistemleri kapsıyorsa;
- İstirahat O<sub>2</sub> tüketimi,
- Egzersiz O<sub>2</sub> tüketimi,
- Toparlanma O<sub>2</sub> tüketimi ölçülmelidir.

# Anaerobik aktivitelerde...

- İstirahat O<sub>2</sub> tüketimi,
- Egzersiz O<sub>2</sub> tüketimi,
- Toparlanma O<sub>2</sub> tüketimi ölçülmelidir.
- Neden ?
- Egzersiz anında tüketilen oksijen sadece aerobik sistem aracılığı ile sağlanan enerjiyi gösterir, toparlanma dönemindeki oksijen tüketimi ise anaerobik sistem tarafından sağlanan enerji miktarını gösterir.

# Egzersiziz aerobik ise....

- Dinlenin O<sub>2</sub> tüketimi,
- Egzersiz O<sub>2</sub> tüketimi (sabitlenmiş egzersiz düzeyine (steady-state) ulaşıldığında ölçülmelidir.
- Dinlenin O<sub>2</sub> tüketiminin bilinmesi egzersiz sırasındaki O<sub>2</sub> tüketiminin (net oksijen) ölçülmesi için önemlidir.

# Anaerobik egzersizde net O<sub>2</sub> maliyeti

$$\begin{aligned} &(\text{Egzersiz } \dot{V}O_2 - \text{Dinlenim } \dot{V}O_2) + \\ &(\text{toparlanma } \dot{V}O_2 - \text{Dinlenim } \dot{V}O_2) \end{aligned}$$

# Anaerobik egzersizde net O<sub>2</sub> tüketiminin ölçülmesi

- 5 dakikada tükenmeye yol açan şiddetli egz.
- 5 dakika egzersiz öncesi dinlenim O<sub>2</sub> toplanması,
- 5 dakikalık egzersiz anında toplanma,
- 45 dakikalık toparlanma periyodunda O<sub>2</sub> toplanması



# Anaerobik egzersizde net O<sub>2</sub> tüketiminin ölçülmesi

- 5 dk dinlenme periyodunda 1.5 lt O<sub>2</sub> (0,3 lt/dk),
- 5 dk egzersiz anında 17 lt O<sub>2</sub> (3,4 lt/dk),
- 45 dk toparlanma periyodunda 25 lt O<sub>2</sub> (0,6 lt/dk),
- Hesaplama;
- Egzersiz VO<sub>2</sub>(17)-dinlenme VO<sub>2</sub>(1,5)=15.5 lt
- Net egzersiz O<sub>2</sub> tüketimi 15,5 lt
- Toparlanma VO<sub>2</sub>(25)-dinlenme VO<sub>2</sub>(0,3\*45=135,5)=11,5 lt
- Net O<sub>2</sub> tüketimi =net egzersiz VO<sub>2</sub> + net toparlanmaVO<sub>2</sub>  
=15,5+11,5=27 lt

Ne kadarlık enerji tüketilir ?

- 1 lt O<sub>2</sub> ile 5 kcal oluşur ise
- 27 lt O<sub>2</sub> ile  $27 * 5 = 135$  kcal

# Aerobik egzersizde net O<sub>2</sub> tüketiminin ölçülmesi

- Egzersiz sabitlenmiş ve submaksimal bir düzeye ulaşılmış olmalıdır.
- Sabitlenmiş egzersiz düzeyi, egzersiz için gerekli bütün enerjinin aerobik yollardan sağlandığı anlamına gelir

# Örnek...

- Kişi 10 dakikadır koşu bandı üzerinde 9,7 km/saat sabit hızda koşuyor...
- Dinlenim  $VO_2$  si ölçülür,
- Sabitlenmiş düzeye ulaşıldığında (3-4 dakika sürer)  $VO_2$  1 dakikadan daha uzun, bazen 2 dakika süreyle ölçülür.
- Egzersiz  $VO_2$  sinden dinlenim  $VO_2$  si çıkartılarak dakikada tüketilen net  $VO_2$  bulunur.

# Örnek...

- Egzersiz anında  $2,8 \text{ Lt/dk} * 10 \text{ dk} = 28 \text{ lt O}_2$
- Dinlenimde  $0,3 \text{ lt/dk}$
- Net tüketim  $25 \text{ lt}$
- $2,8 - 0,3 = 2,5 * 10 = 25$

# İş-Güç

- Net O<sub>2</sub> tüketimi dakika başı ifade edildiğinde güç değerini gösterir.
- Toplam egzersiz süresi olarak ifade edildiğinde ise iş değerini gösterir.

# Güç

- Anaerobik egzersizde;
  - 27 lt O<sub>2</sub> 5 dakikada
  - $27/5=5,4$  O<sub>2</sub> lt/dk \* 5 kcal =25 kcal/dk  
 $=25*69,76=$ 1863 watt
- Aerobik egzersizde;
  - Net O<sub>2</sub> tüketimi 25 lt
  - $25 /10 =2,5$  O<sub>2</sub> lt/dk \* 5 =12,5 kcal  
 $=12,5 * 69,76 =$ 872 watt
- 1 kcal/dk = 69,76 watt

# İş

- Her iki egzersizde de yapılan işler benzerdir (27 ye 25).
- Güç ise iki egzersiz türü arasında oldukça farklıdır.



# Mutlak ve rölatif VO<sub>2</sub>

- VO<sub>2</sub> ve VO<sub>2</sub> max. (maksimal bir aerobik egzersiz anında tüketilen O<sub>2</sub> miktarı);
- Mutlak lt/dk
- Rölatif ml/kg/dk olarak ifade edilir.
- VO<sub>2</sub> max. Aerobik güç olarakta tanımlanabilir.

Oksijenin Kalorik Eşdeğeri  
Solunum Değişim Oranı-  
Solunum Katsayısı  
Respiratory quotient(RQ)

- $RQ = VCO_2 / VO_2$
- R hangi besin ögesinin metabolize edildiğine bağlıdır.
- R sabitlenmiş egzersiz düzeyinde ölçülmelidir.

# Karbonhidratlarda R

- $C_6H_{12}O_6 + ?O_2 \longrightarrow ?CO_2 + ?H_2O$
- Suyun oluşumu için uygun miktarlarda hidrojen ve oksijen vardır.
- Tüketilen oksijenin tamamı karbon oksidasyonu için kullanılır.
- $1 \text{ mol } C_6H_{12}O_6 + 6 \text{ mol } O_2 \longrightarrow 6 \text{ mol } CO_2 + 6 \text{ mol } H_2O$
- (18 mol  $O_2$  gerekli)
- $R = 6V_{CO_2} / 6V_{O_2} = 1$

# Yağlarda R

- Yağlardaki hidrojen/oksijen 2/1 den fazladır,
- Oksijen hem CO<sub>2</sub> üretimi için hem de suyu oluşturmak için kullanılır.
- Sonuç olarak CO<sub>2</sub> üretiminden daha fazla O<sub>2</sub> tüketilir ve R 1 in altında oluşur.

# Yağlarda R

- Örneğin palmitik asitte ( $C_{16}H_{32}O_2$ )
- $C_{16}H_{32}O_2 + ? O_2 \longrightarrow ? CO_2 + ? H_2O$
- $C_{16}H_{32}O_2 + 23O_2 \longrightarrow 16 CO_2 + 16 H_2O$  (48 O<sub>2</sub> gerekli)
- $R = 16CO_2 / 23O_2 = 0,7$
- Yağların tam yıkılımı için karbonhidratlardan daha fazla oksijen gereklidir.

# Karışık diyetle R

- Sadece karbonhidratta  $R = 1$
- Sadece yağda  $R = 0,7$
- Bu iki kaynağın kullanım oranına göre R değişir.
- Yüksek şiddetli egzersizde R 1 e yakındır, neden ?
- Uzun süreli submaksimal egzersizde yağ kullanımını arttıkça R düşer, neden?

		Oluşan kalorinin % dağılımı	
Proteinsiz R	1 lt Oksijen ile oluşan kcal	Karbonhidrat	Yağ
0,70	4,689	0,0	100
0,71	4,690	1,10	98,9
0,72	4,702	4,76	95,2
0,73	4,714	8,40	91,6
0,74	4,727	12	88
0,75	4,739	15,60	84,4
0,76	4,751	19,20	80,8
0,77	4,764	22,30	77,2
0,78	4,776	26,30	73,7
0,79	4,788	29,9	70,1
0,80	4,801	33,40	66,6
0,81	4,813	36,9	63,1
0,82	4,825	40,3	59,7
0,83	4,838	43,8	56,2

		Oluşan kaloringin % dağılımı	
Proteinsiz R	1 lt Oksijen ile oluşan kcal	Karbonhidrat	Yağ
0,84	4,850	47,20	52,80
0,85	4,862	50,70	49,30
0,86	4,875	54,10	45,90
0,87	4,887	57,50	42,50
0,88	4,889	60,80	39,20
0,89	4,911	64,20	35,80
0,90	4,924	67,50	32,50
0,91	4,936	70,80	29,20
0,92	4,948	74,10	25,90
0,93	4,961	77,40	22,60
0,94	4,973	80,70	19,30
0,95	4,985	87	16,00
0,96	4,998	87,20	12,8
0,97	5,010	90,40	9,58
0,98	5,022	93,60	6,37
0,99	5,035	96,80	3,18
100	5,047	100	0,00



# MET kavramı

- Metabolik eşdeğer
- Matabolik Equivalent

# 1 MET

- Enerji maliyetini ifade etmek için kullanılan bir diğer kavramdır.
- 1 MET sakin bir şekilde otururken ml/kg/dk olarak ifade edilen enerji tüketimi olarak tanımlanmaktadır
- 1 MET dinlenme VO<sub>2</sub> hızıdır.
- Ortalama bir yetişkinde 1 MET =3,5 ml/kg/dk dır.
- Bu değer dinlenme O<sub>2</sub> tüketim hızını ve enerji tüketim hızını kullanmak içinde kullanılabilir.

# METs

- Birden yüksek olan Met kişinin dinlenimdeki metabolizmasının katlanarak arttığı anlamına gelir.
- 10 MET lik bir egzersiz bir aktivitenin oksijen maliyetinin dinlenim VO<sub>2</sub> sinden 10 kat kadar fazla olduğu anlamına gelir
  - $3,5 \text{ ml/kg/dk} * 10 = 35 \text{ ml/kg/dk}$
  - $70 \text{ kg} * 35 = 2450 \text{ ml/dk} = 2,45 \text{ lt/dk}$

# MET

- İşlemleri tersinden hesaplayarak VO<sub>2</sub> si bilinen bir egzersizin kaç MET lik bir egzersiz olduğunu da bulabiliriz.
- 9,7 km/saat hızda 2,8 lt/dk VO<sub>2</sub> hızıyla koşan birisi kaç MET lik egzersiz yapar ?
- 2,8 Lt/dk = 2800 ml/dk / 70 kg = 40 ml/kg/dk
- 1 MET = 3,5 ml/kg/dk ise 40 / 3,5 = 11,4 MET

# Düz ve eğimli yüzeylerde yürüyüşlerdeki Met değerleri

% eğim	m/dk Km/saat					
	45,6 (2,7)	53,7 (3,22)	67 (4,02)	80,5 (4,83)	91,2 (5,47)	100,5 (6)
0	2,3	2,5	2,9	3,3	3,6	3,9
2,5	2,9	3,2	3,8	4,3	4,8	5,2
5	3,5	3,9	4,6	5,4	5,9	6,5
7,5	4,1	4,6	5,5	6,4	7,1	7,8
10	4,6	5,3	6,3	7,4	8,3	9,1
12,5	5,2	6	7,2	8,5	9,5	10,4
15	5,8	6,6	8,1	9,5	10,6	11,7

# Bazı aktivitelerin MET değerleri

	MET deęeri		MET deęeri
Montaj iřçilięi	3,5	Boyacılık	4,5
Bowling	3	Güvenlik gör.	2,5
Otobüs řoförlüęü	3	Kayak	5-7
Marangoz	6	Kar temizlięi	4,5-6
Masa başı iři	1,5	Demir iřçilięi	4,5
Çiftçilik	5	Yüzme	8
Savař pilotluęu	12	Tenis	7
Bahçe iřleri	5	Yürüme (4,8 km/saat)	3,3
Golf	5,5-3,5	Avcılık	6

# Metabolik Hesaplamalar

## Yürüyüş

$$\text{Hız} = \text{m/dk}$$

$$\text{Eğim} = \%5 \text{ ise } 0.05$$

$$\text{VO}_2 \text{ ml/kg/dk} = (0.1 * \text{Hız}) + (1.8 * \text{Hız} * \text{Eğim}) + 3.5$$

Yatay Bileşen

Dikey Bileşen

Dinlenme

Hız= 5 km/saat = 83.3 m/dk, Eğim= %10,  
Kişi 70 kg ve 60 dakikalık egzersiz

$$\text{VO}_2 \text{ ml/kg/dk} = (0.1 * 83.3) + (1.8 * 83.3 * 0.1) + 3.5$$

$$\text{VO}_2 \text{ ml/kg/dk} = (8.3) + (14.99) + 3.5 = 21.2$$

$$\text{VO}_2 \text{ ml/kg/dk} = 21.2 * 70 * 60 = 112.557 \text{ ml} = 112.5 \text{ L O}_2$$

$$\text{Kaç kalori} = 112.5 * 5 = 562.5 \text{ kalori}$$

# Metabolik Hesaplamalar

Koşu, 5 km/saat ten hızlı

Hız=m/dk

Eğim= %5 ise 0.05

$$VO_2 \text{ ml/kg/dk} = (0.2 * \text{Hız}) + (0.9 * \text{Hız} * \text{Eğim}) + 3.5$$

Yatay Bileşen

Dikey Bileşen

Dinlenme

Hız= 10 km/saat = 166.66 m/dk, Eğim= %10,  
Kişi 70 kg ve 60 dakikalık egzersiz

$$VO_2 \text{ ml/kg/dk} = (0.1 * 166.66) + (0.9 * 166.66 * 0.1) + 3.5$$

$$VO_2 \text{ ml/kg/dk} = (33.33) + (15) + 3.5 = 51.83$$

$$VO_2 \text{ ml/kg/dk} = 51.83 * 70 * 60 = 217.686 \text{ ml} = 217.68 \text{ L O}_2$$

$$\text{Kaç kalori} = 217.68 * 5 = 1088.43 \text{ kalori}$$



# Leg Ergometry

- $VO_2 = 1.8 (\text{Work rate}/\text{Mass in kg}) + 7$
- M= mass of subject NOT resistance
- Work rate is reported in watts, convert when necessary
  - $1 \text{ W} = 6 \text{ kg} \cdot \text{meters}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
  - $\text{Power} = R \cdot D \cdot f$ 
    - R= resistance in kg
    - D= distance of the fly wheel
      - 6m for Monark
      - 3m for Tunturi
    - F= frequency in rpm
- **NOTE:  $VO_2$  is reported as  $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$**

$$R \times D \times F = \text{Power: } \text{VO}_2 = 1.8 \left( \frac{\text{Work rate}}{\text{Mass in kg}} \right) + 3.5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$$
$$+ 3.5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$$

## Example

$$R = 2 \text{ kg}\cdot\text{meters} \quad D = 6 \text{ meters (Monark)} \quad F = 50 \text{ reps}$$
$$(\text{Power}) = 2 \times 6 \times 50 = 600 \text{ kg}\cdot\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$$

$$\text{Mass} = 70 \text{ kg}$$

$$\text{Work rate} = 600 \text{ kg}\cdot\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$$

$$1.8 \times (600/70) + 7 = 22.42 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$$

$$\text{Convert to METs} - 22.42/3.5 = 6.40 \text{ METs}$$

# Stepping Ergometry

- $VO_2 = (0.2 \cdot f) + (1.33 \cdot 1.8 \cdot f \cdot h) + 3.5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 
  - F=stepping rate
  - H=height of step in meters
- **NOTE:**  $VO_2$  is reported as  $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

# Stepping Ergometry

$$VO_2 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1} = (0.2 \cdot f) + (1.33 \cdot 1.8 \cdot f \cdot h) + 3.5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$$

## Example

- Frequency = 20 steps/min
- Height = .254 meters (10 inches)

Step 1      $(.2 \times 20) = 4$

Step 2      $(1.33 \times 1.8 \times 20 \times .254) = 12.16$

Step 3     (Add resting value-3.5)

Step 4 – (sum)     = **19.66** ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>

METs = 5.61