

# Perfil fisiològic dels practicants d'espeleologia (i sol·licitacions)\*

---

I. Yzaguirre i Maura, M. Balcells i Diaz

---

---

## SUMMARY

In the study we have developed, we intend to contribute to the knowledge of the characteristics of speleologists in our environment, through a functional evaluation and a physiological profile study. Initially we will develop a laboratory study, and secondly we will proceed to a more specific field test.

This will allow us to know which is the actual type of work performed in the explorations, and what kind of training needs to be done in order to reach better conditions.

---

## 1. Introducció

En l'estudi que em portat a terme pretenem fer una contribució al coneixement de les característiques dels practicants de l'espeleologia en el nostre medi, a través d'una valoració funcional i estudi del perfil fisiològic, en primer terme al laboratori i en segon terme amb una prova específica de camp.

Això permetria conèixer quin és en realitat el tipus de treball que es realitza en les exploracions i la preparació que cal fer per a portar-les a terme en unes millors condicions.

## 2. Significat del problema

La dificultat de la quantificació del tipus de treball que es realitza durant les exploracions i la seva contraposició al grau de preparació de cada subjecte malgrat les dificultats que presenta la calorimetria indirecta pel anomenat mètode Holter.

## 3. Hipòtesis

- a) Demostrar que el treball en espeleologia té un component aeròbic molt important, pel damunt del component anaeròbic. Aquesta demostració estarà basada en el comportament cardíac dels subjectes durant una exploració i serà constataada a nivell del % de treball de *Resistència Aeròbica* (endurance) i de *Resistència Mixta* (Potència Aeròbica + Capacitat Aeròbica).
- b) Trobar les correlacions entre el grau de preparació del subjecte i els valors de *Resistència Aeròbica* i de *Resistència Mixta*, en les proves de camp i del laboratori.
- c) Trobar la influència d'una sobrecàrrega afegida, en els resultats de la prova de camp.
- d) Trobar la correlació entre els valors de  $La^+$  en sang de les proves de laboratori i de camp, en el grup de subjectes que varen realitzar la prova de camp amb una sobrecàrrega afegida (Grup "estudi" = GAS = Grup amb sobrecàrrega afegida).

---

(\*) Trabajo becado por la Direcció General d'Esports de la Generalitat

- e) Trobar una prova de camp específicament espeleològica que ens informi de la condició física del subjecte.

#### 4. Definició de termes

G.A.S: Grup amb sobrecàrrega afegida.

G.S.S.: Grup "control", sense sobrecàrrega.

LL.A.: Llindar Aeròbic. Intensitat de treball on comença a actuar el metabolisme anaeròbic com a complement del metabolisme aeròbic.

LL.AN.: Llindar Anaeròbic. Intensitat de treball en la que el metabolisme anaeròbic és el determinant en el rendiment esportiu.

VO<sub>2</sub> màx.: Consum màxim d'oxigen.

Resistència Aeròbica: Endurance. Treball realitzat en règim metabòlic eminentment aeròbic.

Potència Aeròbica: Treball realitzat pel damunt del Llindar Anaeròbic.

Capacitat Aeròbica: Treball realitzat en la zona de transició aero-anaeròbica.

Treball Mixt: Tot el treball realitzat pel damunt del Llindar Aeròbic (Potència Aeròbica + Capacitat Aeròbica).

#### 5. Disseny de l'estudi

Descripció del disseny de la investigació:

##### a) Prova de Laboratori

- Anànnesi Mèdico-Esportiva.
- Cineantropometria.
- Exploració Física de Base.
- Espirometria.
- Electrocardiografia de repòs.
- Prova funcional.

Prova funcional progressiva màxima, segons el protocol de Wassermann, determinació del VO<sub>2</sub> màx., Càrrega màxima, Freqüència cardíaca màxima, Llindar Aeròbic i Anaeròbic, Deute d'O<sub>2</sub>, La<sup>+</sup> als 5 minuts, recuperació de la Freqüència cardíaca (F.C.), Estudi d'adaptació a les càrregues de treball.

##### Material

- Pinça per a mesura de plecs cutanis tipus "Kaliper".
- Electrocardiògraf d'un canal marca "Hellige".
- Cicle-ergòmetre KEM-2 de fre electromecànic de la casa Minhardt.
- Ergo-analitzador de gasos de circuit obert tipus Oxicon-3 de la casa Minhardt.
- Monitor de la Freqüència Cardíaca de la casa Hellige.
- Analitzador de La<sup>+</sup> de tipus enzimàtic de doble membrana, model AL-7 de la casa SETRI GENIE INDUSTRIEL.

##### b) Prova de camp

- Consisteix en l'exploració d'una cavitat real.
- La cavitat és Els Pouetons de les Agulles situat al massís de Montserrat, cavitat seleccionada per les seves característiques d'avenç escola, número suficient de pous, recorregut notable dins del context de l'espeleologia vertical a Catalunya i amb un recorregut obligat pels voluntaris.
- Els equips són de dos o tres voluntaris, més una persona que els hi controla la Tensió arterial i l'horari.
- Es posa a punt un sistema que no exigeix, al controlar la T.A., que els voluntaris s'hagin de treure roba.
- No es permet als voluntaris instal·lar ni desinstal·lar la cavitat.
- 8 voluntaris, que constitueixen el grup G.A.S. realitzen la prova transportant un "petate" carregat amb un pes equivalent al 10% del seu propi pes corporal.
- La resta, que constitueix en el grup control G.S.S., realitzen l'exploració sense petate.
- No hi ha limitacions ni en el menjar ni en el veure.
- Es controlen la temperatura i la humitat dins i fora de la cavitat.
- Es recullen dades corresponents a:

- Anàlisi prèvia d'orina.
- Control de la tensió arterial a estacions establertes prèviament (Annex 2).
- Registre continuat de la F.C. per mitjà de cardio-tacòmetres.
- Es cronometre el temps d'ascens del pou de 48 metres (p 50).
- Es realitza extracció de sang capil·lar a la sortida de la cavitat per a determinar els La<sup>+</sup> acumulats.
- Es recull mostra d'orina a la sortida per a anàlisi in situ.

##### Material:

- Cardiotaquímetre marca Sportester-3000, 8 unitats. Permeten enregistrar la Freqüència cardíaca amb precisió, per mitjà de la captació de les senyals elèctriques del cor. Transmissió sense fil al receptor de canell. Memòria. Transmissió directa de les dades a un ordinador.
- Cronòmetres: Heuer super sport 1/5. Pulsometer Seiko.
- Esfignomanòmetre digital DS-90 i quatre mànegues amb micròfon incorporat.
- Utillatge per a recollida de sang capil·lar.
- Nevera tipus termos.
- Tires reactives per a l'anàlisi d'orina: Combur 8 test.
- Dinamòmetre.
- Estació meteorològica: Termòmetre i Higròmetre.

## 6. Tractament estadístic

S'han calculat les mitges i desviacions estandar, s'ha calculat el coeficient de correlació i s'han determinat les possibles significacions estadístiques de cada sèrie de valors. També s'han calculat les rectes i línies de regressió per aquelles variables que tenien un coeficient de correlació alt i llur significació estadística era de l'ordre de  $p < 0.05$  a  $p < 0.001$ . Degut al tamany de la mostra s'ha aplicat la t Student.

## 7. Resultats

### Resultats de laboratori

Característiques del grup amb sobrecàrrega, G.A.S., del grup sense sobrecàrrega, G.S.S. (Control).

GRUP	EDAT	TALLA	PES	VO <sub>2</sub> màx. ml/kg	% LL.An.	% GREIX	N
G.S.S.	24.80 ± 8.05	174.80 ± 8.05	69.01 ± 4.61	55.67 ± 4.68	73.08 ± 7.58	15.60 ± 4.25	8
G.A.S.	22.80 ± 7.11	173.90 ± 11.41	68.30 ± 6.42	55.28 ± 9.33	73.69 ± 15.70	11.95 ± 6.13	6

LL. An. = Llindar anaeròbic.  
N = Número de subjectes de la mostra.

Aquesta taula de dades presenta les mitges i desviacions estàndar dels dos grups respecte els paràmetres que hi ha a la part superior de cada columna.

### Resultats de la prova de camp

Els resultats fan referència al % de Potència Aeròbica, Capacitat Aeròbica i Resistència Aeròbica (Endurance) desenvolupats a la prova de camp. Aquests conceptes s'han definit prèviament a l'apartat 4: definició de termes.

GRUP	POTÈNCIA AERÒBICA	CAPACITAT AERÒBICA	RESISTÈNCIA AERÒBICA	T.P.S.T.
G.S.S. n = 8	4.87% +2.74	8% +4.49	88.12% +8.62	2 h 41'15'' +17'
G.A.S. n = 6	11.17% +10.96	10% +11.20	77.00% +11.38	2 h 50'30'' +23'

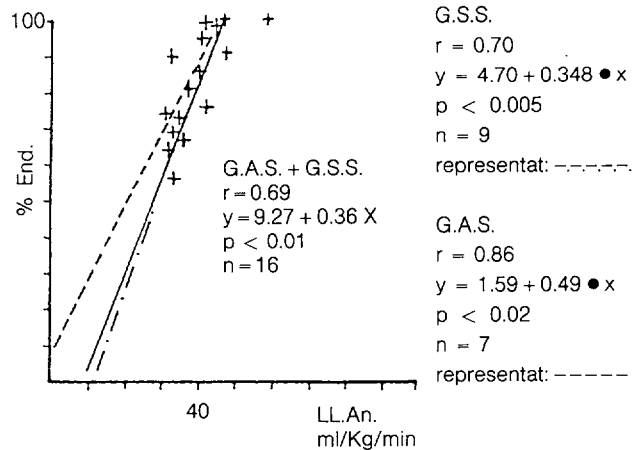
T.P.S.T. = Temps de permanència sota terra.

### Relacions entre la condició física dels voluntaris i els resultats de la prova de camp

Resultats relatius a la correlació entre el grau de

preparació de l'esportista i els seus respectius resultats a la prova de camp. Aquesta correlació pren com a paràmetres, els Llindars Aeròbic i Anaeròbic en valors absoluts, o sigui en valors de consum

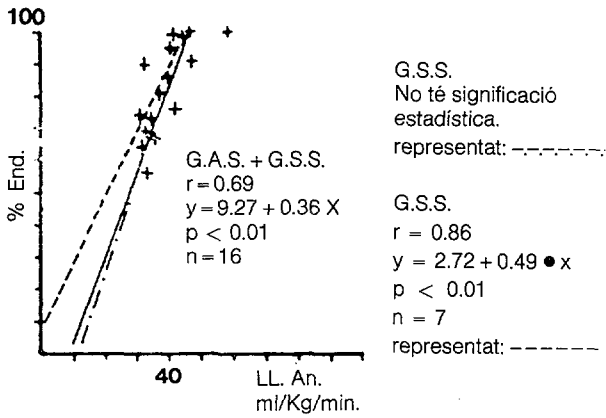
Gràfica 1



d'oxigen, determinats prèviament al laboratori i el % de Resistència Aeròbica (endurance) aconseguida a la prova de camp. Tal com es pot veure a la Gràfica núm 1:

A la gràfica que hi ha a la pàgina anterior podem veure una correlació  $r = 0.76$  altament significativa ( $p < 0.001$ ), si analitzem el conjunt de subjectes dels dos grups (G.A.S. + G.S.S.,  $n = 16$ ) entre el % de Resistència Aeròbica a l'exploració i el seu respectiu Llindar Aeròbic.

Gràfica 2



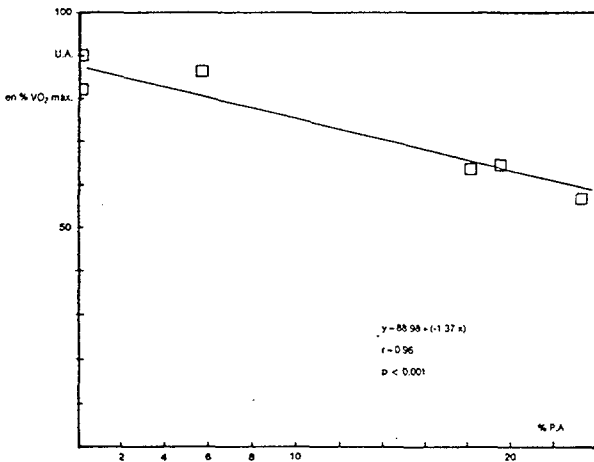
LL. An.: Llindar anaeròbic.

Hi ha una correlació  $r = 0.69$ , estadísticament significativa ( $p < 0.01$ ) si considerem conjuntament els dos grups (G.A.S. + G.S.S.,  $n = 16$ ) entre el % de Resistència Aeròbica i el Llindar Anaeròbic. Aquesta correlació augmenta al analitzar per separat el grup amb sobrecàrrega afegida, però no en el grup control (G.S.S.).

**Relació entre el grau de preparació de l'esportista i el % de treball en potència aeròbica en la prova de camp en el grup amb sobrecàrrega.**

El grup amb sobrecàrrega afegida mostra una funció lineal, amb un coeficient de correlació del 0.96 i significació estadística de caràcter positiu:  $p < 0.001$ , com pot veure's a la gràfica número 3:

Gràfica 3



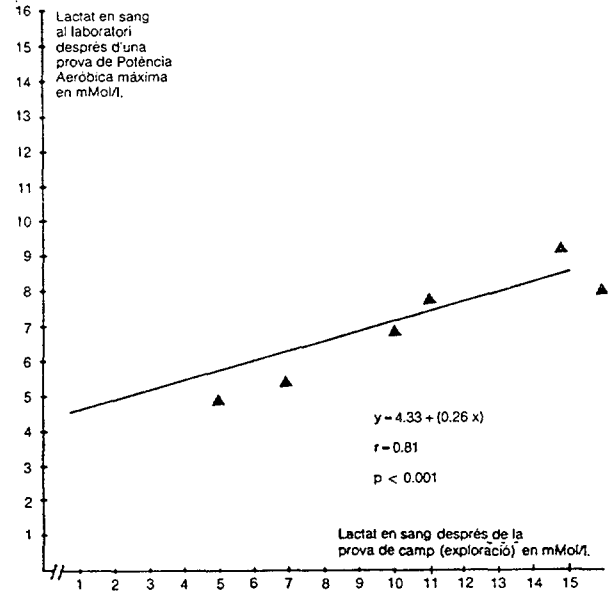
En canvi el grup sense sobrecàrrega afegida no presenta correlació entre el % de Resistència Aeròbica obtinguda en el treball de camp i el punt del Llindar Anaeròbic (U.A.) mesurat en % de  $VO_2$  màx.

El coeficient de correlació en aquest cas és  $r = 0.15$  i per ésser tant baix, no té cap significació estadística.

**Relació entre el lactat en sang després d'una prova de laboratori de potència màxima i lactat en sang després d'una exploració en el grup amb sobrecàrrega.**

La relació del lactat en sang ( $La^+$ ), després d'una prova de laboratori de Potència Aeròbica Màxima, amb la concentració de lactat després d'una exploració subterrània, ens mostra que el grup actua portant una sobrecàrrega, presenta una correlació estadística de l'ordre de  $r = 0.81$  i la seva significació estadística es  $p < 0.001$ , en tant que el grup que va actuar sense sobrecàrrega no presenta cap correlació entre ambdós paràmetres.

Gràfica 4



**Discussió de resultats**

- a) Observar el fet que l'afegir una sobrecàrrega addicional als subjectes, disminueix el % de treball en "endurance" és a dir de Resistència Aeròbica al voltant d'un 10% augmentant alhora la quantitat de treball realitzat en règim de Capacitat Aeròbica i de Potència Aeròbica. Per tant hi ha un increment del metabolisme anaeròbic en aquest grup (G.A.S.) en relació a aquells subjectes que han fet el treball sense sobrecàrrega afegida, és a dir amb el pes de l'equip de progressió i el propi pes corporal.
- b) Per les dades obtingudes del registre constant de la freqüència cardíaca a intervals de 15 segons, es pot observar que l'aventura espeleològica sol·licita dels seus practicants un treball de característiques fonamentalment aeròbiques, encara que hi ha un discret percentatge de treball anaeròbic que pot considerar-se de Resistència Mixta (Potència Aeròbica + Capacitat Aeròbica).

Hem de dir que la proporció entre Treball Aeròbic i Resistència Mixta és casi de 9 a 1 quan el

subjecte treballa sense sobrecàrrega i que si afegim una càrrega del 10% del seu propi pes corporal (discreta respecte al que és habitual en espeleologia) la relació passa a ésser de 8 a 2.

c) En els dos grups es mantenen uns nivells aeròbics molt pel damunt dels nivells anaeròbics. Això demostra la hipòtesi plantejada en un principi respecte a la possibilitat de trobar, per mitjà de la valoració de la freqüència cardíaca les fonts energètiques fonamentals en espeleologia. (Aquest aspecte és el cos fonamental de la segona part del treball de gabinet que més endavant s'exposa detalladament).

d) La influència d'una sobrecàrrega afegida, tal i com s'ha exposat a la hipòtesi plantejada, encara que faci variar poc els % aeròbic i mixte, és d'una gran transcendència degut a la notable duració de les "puntes" d'exploració (de 2 hores fins a 25 o més hores). Aquesta diferència tindrà conseqüències notables a nivell del consum energètic i dels processos de recuperació.

L'haurem de tenir doncs en compte, ja que més o menys el 10% del treball aeròbic passa al grup de resistència mixta i en conseqüència estaran més activats els processos anaeròbics alàctics com a font d'aportació energètica.

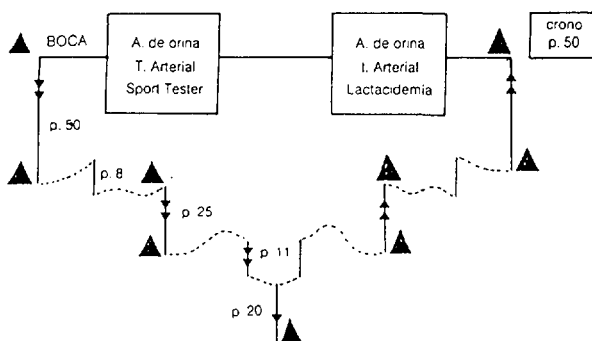
e) Si la relació del grau de preparació és entre la Potència Aeròbica i el punt on es troba el Llindar Anaeròbic (en % del consum màxim d'oxigen),

s'observa un coeficient de correlació alt ( $r = 0.96$ ) i significativament de l'ordre de  $p < 0.001$ , que ens indica que, per més que aquesta dada no tenia importància en els treballs aeròbics totals dels subjectes que no portaven sobrecàrrega afegida, sí que ho és en aquells que porten sobrecàrrega afegida (G.A.S.) i per tant tindrà importància la preparació en base a la Potència Aeròbica.

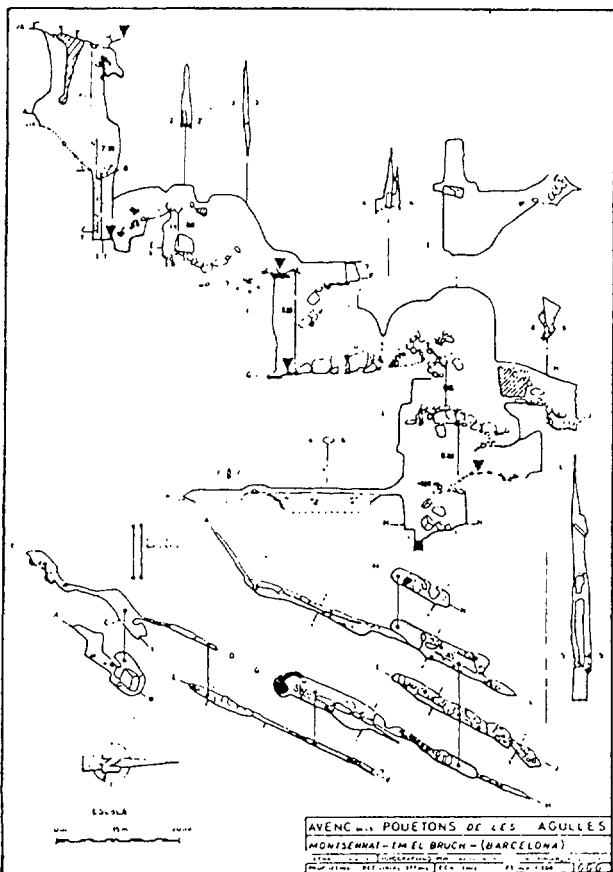
f) La concentració de lactat sanguini després de la prova de laboratori, respecte a l'acumulació de lactat després de la prova de camp, presenta una correlació alta:  $r = 0.81$ ,  $p < 0.001$ , en el cas d'aquells exploradors que varen ser sotmesos a una sobrecàrrega corporal del 10% del seu propi pes corporal, el que ens confirma els resultats anteriors de la correlació entre la Potència Aeròbica Màxima i el % del Llindar Anaeròbic.

## Apèndix 2

Diagrama de la prova de Camp-Avenc dels Pouetons-Montserrat



## Apèndix 1. Topografia de la cavitat



## 1. Calorimetria indirecta. Telemetria

a) Consisteix en obtenir la despesa energètica de forma indirecta a partir del registre de la Freqüència Cardíaca.

Això es basa en la relació, en cada individu, entre F.C. i  $VO_2$ .

Per això cal obtenir al laboratori la relació individual entre Freqüència Cardíaca i  $VO_2$  i enregistrar, durant l'exercici físic a estudiar, la Freqüència Cardíaca i extrapolar els valors obtinguts al laboratori.

El mètode té les limitacions que en el següent apartat expliquem, però és l'única manera que avui per avui podem utilitzar en espeleologia, sense alterar profundament les condicions d'exploració subterrània i que ens aproximi uns resultats orientatius de la despesa calòrica:

"La utilització de la telemetria, permet avaluar el  $VO_2$  de moltes activitats físiques i esportives que normalment seria impossible de determinar". (E.L. FOX, D.K. MATHEUS).

b) L'aparició de moderns carditacòmetres digitals, ha permès eliminar en gran mesura un dels factors d'error d'aquest tipus d'estudi.

## 2. Limitacions del mètode

- a) Relacionats amb la prova de laboratori.  
Posició de la màquina ergomètrica.  
Execució del protocol.
- b) Factors constitucionals, edat i sexe.
- c) Relacionats amb la medició de la freqüència cardíaca.
- d) Relacionats amb les condicions ambientals i psicològiques:  
Altitud.  
Humitat.  
Temperatura ambiental.  
Posició de l'exercici a avaluar.  
Excitació.  
Exercici estàtic.  
Exercici dinàmic dels membres superiors.  
  
Condicions ambientals especials:
  - Llum brillant.
  - Calor elevada.
  - Soroll.
  - Estrès.

e) Hora i època de l'any.

Tots aquests elements que hem anunciat de forma esquemàtica a continuació els tractem amb més profunditat per tal d'explicar com han afectat al nostre estudi i les diverses solucions que hem adoptat:

### a) Lligats a la prova de laboratori:

La posició en què es realitza la prova d'esforç altera el consum d'oxigen i la freqüència cardíaca, de forma independent en relació a una mateixa càrrega. (Mellerowicz).

De les tres posicions bàsiques: De peu, assegut i en decúbit, la segona es la que vàrem utilitzar i és la que més s'adequa a la prova que teníem que realitzar al camp, ja que una bona part de l'exploració es realitza assegut a un talabart.

Durant la prova de laboratori se segueixen les recomanacions del Comitè d'investigacions de l'ICSPE per a la Normació internacional de l'Ergometria. (1967, Berlin).

S'executa el protocol de Wassermann amb escurpulositat i arriben els voluntaris al límit de les seves possibilitats físiques.

Es monitoritza la Freqüència cardíaca amb un aparell de confiança, sobretot perquè a les freqüències superiors a 170 per minut i a les inferiors a 100, s'altera la correlació F.C./VO<sub>2</sub> i aquests valors no podran extrapolar-se a partir de la recta de regressió.

### b) Factors constitucionals:

1. La F.C. varia en funció de l'edat i el sexe.  
En el cas de l'edat fins i tot hi ha diferències de la corba de recuperació post-esforç.

També és coneguda la tendència a la disminució de la F.C. per a un mateix esforç a mesura que augmenta l'edat.

També és conegut el fet que les dones en front a un mateix esforç, tenen la F.C. més elevada.

2. Pel que fa al Consum d'oxigen (VO<sub>2</sub>), les necessitats en front a un mateix esforç són molt semblants en els dos sexes (Mellerowicz) encara que és coneguda la notable diferència pel que fa al VO<sub>2</sub> màx. entre els dos sexes, (Ventratz i Hollmann, 1965) així com les variacions del VO<sub>2</sub> màx. al llarg de la vida.

### c) Problemes relacionats amb les condicions ambientals i psicològiques:

1. La F.C. augmenta per a un mateix esforç quan la temperatura és més elevada. Quan la humitat és més elevada també augmenta la F.C. durant l'esforç. (A les cavitats subterrànies la humitat és del 100%).

El mateix succeeix al disminuir la pressió atmosfèrica i pressió parcial d'oxigen.

*"No s'han publicat investigacions quantitatives exactes sobre la influència de la temperatura i la humitat de l'aire sobre la freqüència del pols durant l'esforç, que hagin estat realitzades amb un material d'investigació suficientment representatiu. (Mellerowicz, 1984)*

### d) Problemes relacionats amb la medició de la F.C.:

Amb l'aparició de l'actual generació de cardiotaquímetres l'error clàssic del 10% en l'extrapolació de VO<sub>2</sub>, degut a l'error metodològic en la medició de la freqüència cardíaca, ha canviat de dimensió. Més quan aquests aparells tenen capacitat de memòria, donen mitjans i l'error en la medició del temps i de la freqüència cardíaca es molt petit tal com han demostrat a recents estudis (ECLACHE J. P. et al.) si es tria un cardiotaquímetre adequat.

### e) El consum d'oxigen:

Es disminuït en relació a l'alçària en funció d'un corba normal de manera que a partir de 1.500 metres d'altitud, podem esperar una disminució de VO<sub>2</sub> màx. d'un 1% per cada 100 metres més amunt de l'esmentada cota, en el valor del VO<sub>2</sub> màx.

### f) Condicions ambientals especials:

Com són: La llum brillant, el fort soroll, la calor, l'estrès,... que eleven la freqüència cardíaca pel damunt de la despesa energètica. (R. Guillet et al.)

### g) Condicions en què es realitza l'exercici:

En decúbit la freqüència del pols és més baixa per a una determinada magnitud de VO<sub>2</sub>.

En l'exercici estàtic hi ha un augment de F.C. en

relació a la força màxima del múscul concret i no del  $VO_2$ .

En l'exercici dinàmic dels membres superiors, es produeix un augment de la freqüència cardíaca per a idèntics valors de  $VO_2$ .

Exercici amb moviments ràpids dels segments de les extremitats produeix similar efecte. (R. Guillet et al.)

### **h) Condicions purament psicològiques:**

Com són l'excitació i la por. L'espeleologia, activitat aventurera, està plena de situacions en les que és possible l'excitació i la por i que poden elevar la freqüència cardíaca pel damunt dels corresponents valors de  $VO_2$  determinats al laboratori per a aquella F.C.

### **i) L'època de l'any i l'hora:**

Han d'esser tingudes en compte al dissenyar un estudi d'aquestes característiques.

## **3. Precaucions que varem seguir per tal de minimitzar les limitacions del mètode.**

- Utilització de l'ergocicle, (posició assegut) per a la prova d'esforç al laboratori.
- Escrupulosa execució del protocol de Wassermann.
- Seguiment de les recomanacions ICSPE.
- Elaboració de rectes de regressió individuals F.C./ $VO_2$ , d'esforç i de recuperació.
- Voluntaris de sexe masculí.
- Edat al màxim uniforme dels voluntaris (aconseguit en part).
- Utilització de moderns carditacòmetres per a la prova de camp.
- Es realitza la prova de camp a una cavitat de "baixa muntanya". Entre 800 i 900 metres d'altitud es realitza l'exploració.
- És inevitable una humitat relativa entre el 98 i 100% a la cavitat, que és idèntica per als voluntaris i que és l'habitual a les caveres.
- La temperatura ambiental es de 9-10 graus Celsius.
- La cavitat és silenciosa, sense rius ni cascades que fan un soroll que tindria repercussió en els resultats.
- La cavitat és un avenç escola que no desperta cap emoció ni interès entre els voluntaris, intentant-se així evitar interferències de tipus psicològic.

- L'exploració d'aquesta cavitat no requereix cap del moviments típics, que se sap que pertorben la correlació F.C./ $VO_2$  màx.: decúbit, exercici estàtic...etc.
- Les proves de laboratori de camp es realitzen en menys d'un mes d'intèrval per a cada voluntari.
- S'eliminen de l'estudi calorimètric aquells fragments de la gràfica del carditacòmetre amb resultats paradoxals. (Sorprenentment elevades per la sol.licitació) i que corresponien fonamentalment a l'entrada i descens de pous en ràpel. (Aprehensió?).
- S'ha suprimit de l'estudi la primera hora d'exploració, per a permetre la posta en marxa del metabolisme lipídic.
- S'han determinat els períodes de recuperació francs i per a ells s'ha utilitzat la recta de regressió F.C./ $VO_2$  de recuperació. Aquests períodes corresponen als minuts posteriors a la sortida d'un pou.
- S'ha procurat que els voluntaris dels dos grups, executin idèntica exploració en dificultat i temps. No se'ls ha permès instal.lar ni desinstal.lar la cavitat i un controlador, sempre el mateix, ha acompanyat a cada grup de tres voluntaris en la prova de camp, per a garantir que així fos.
- Varen convertir-se els valors de  $VO_2$  obtinguts al laboratori, en unitats VSTPD a VATPS.

## **4. Procediment seguit**

S'ha elaborat per a cada subjecte, la recta de regressió entre les F.C. i  $VO_2$  obtingudes a cada palier de la prova triangular segons el protocol de Wassermann.

Els aparells utilitzats durant la prova han estat tal com anteriorment hem dit:

- Cicloergòmetre KEM-2 de fre electromecànic de la casa Minhardt.
- Ergoanalitzador de gasos de circuit obert tipus oxicon de la casa Minhardt.

El protocol de la prova s'ha seguit fins les màximes possibilitats del subjecte a fi i efecte d'obtenir un valor del  $VO_2$  màx. el màxim fiable.

El Llardar Anaeròbic s'ha determinat d'acord amb les possibilitats que ofereix l'ergoanalitzador de gasos:

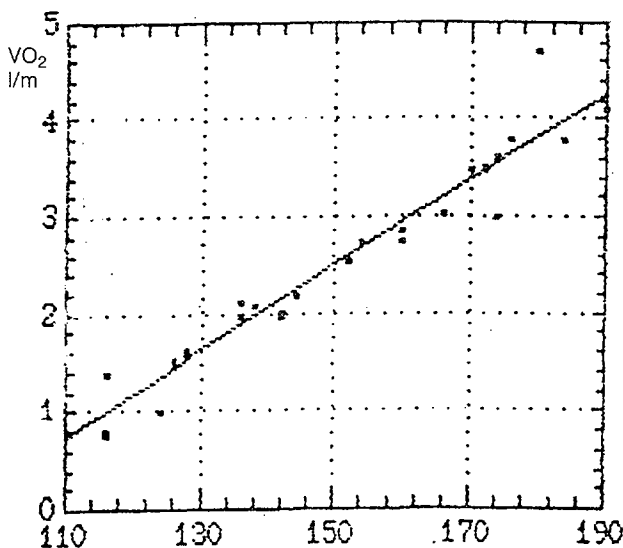
- Evolució del VE en funció del temps.
- Cocient VE/EQ, criteri recentment revaloritzat.

Partint dels resultats d'aquesta prova, s'han realitzat per a cada subjecte la correlació estadística i recta de regressió (T Student) entre el  $VO_2$  i F.C., obtenint els següents resultats:

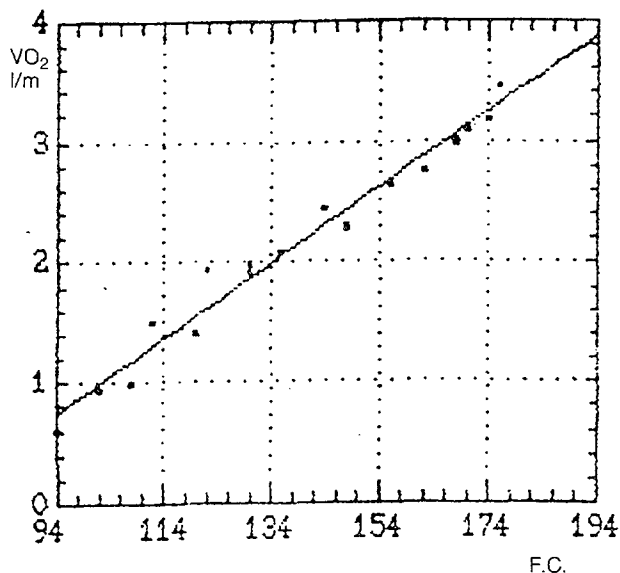
subjecte	r	t	n	p
1	0.97	19.78	13	p<0.0005
2	0.98	18.65	11	p<0.0005
3	0.96	12.25	12	p<0.0005
5	0.97	17.00	14	p<0.0005
6	0.95	9.74	11	p<0.0005
7	0.96	17.46	22	p<0.0005
8	0.98	22.87	18	p<0.0005
9	0.95	12.63		
12	0.91	12.84	14	p<0.0005
13	0.97	20.72	20	p<0.0005
15	0.98	20.46	13	p<0.0005
16	0.98	22.07	15	p<0.0005
17	0.97	21.47	24	p<0.0005
18	0.99	28.32	17	p<0.0005

A nivell d'exemple reproduïm les gràfiques dels subjectes 17 i 18 (VO<sub>2</sub> / F.C. d'esforç):

Gràfica d'esforç del subjecte 17:

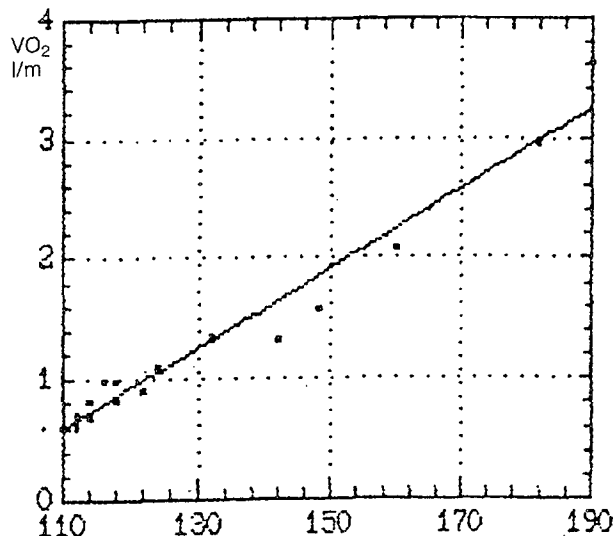


Gràfica d'esforç del subjecte 18:

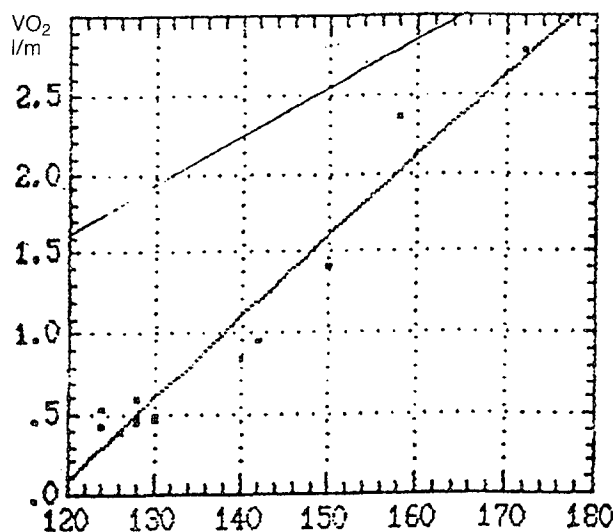


Es realitzen les gràfiques VO<sub>2</sub> / F.C. de recuperació. Reproduïm les gràfiques dels subjectes 17 i 18.

Gràfica 17. Recuperació



Gràfica 18. Recuperació



El següent pas és adaptar els consums d'O<sub>2</sub> del laboratori, expressats en STPD a les condicions de la prova de camp, en unitats ATPS, per mitjà de la fórmula:

$$V_{STDP} = V_{ATPS} \times \left[ \frac{P_B - P_{H_2O}}{760 \text{ mm Hg}} \times \frac{373}{t} \right]$$

*Selecció de gràfiques:* cal estar segurs que de la F.C. obtinguda en la prova de camp, es pot extrapolar la VO<sub>2</sub>, mercès a llur aplicació a la recta de regressió obtinguda al laboratori entre 100 i 170.

En primer lloc cal observar les situacions detectades per diversos autors on hi ha alteració de la correlació F.C./VO<sub>2</sub>, (Guillet, Fox, Mellerowicz...) de les quals les relacionades amb qüestions de tipus psicològic i de difícil objectivació, poden tenir incidència en el nostre estudi.



També volem deixar clares les diferències:

	Laboratori	Avenc
Temperatura	26	9-10
Humitat	80%	100%
Altitud sobre el mar	180 msnm	890-910 msnm

## Resultats

A continuació es va analitzar cada gràfica en diferents segments o períodes d'exploració.

- Descens del pou de 50 metres.
- Descens de la boca de la cavitat fins 109 metres de profunditat.
- Ascensió del pou de 50 metres.
- Ascens desde 109 metres de profunditat a la superfície.

Vàrem determinar a cada un d'aquests segments el % de treball realitzat per sota del Llindar Aeròbic, entre els dos llindars i pel damunt del Llindar Anaeròbic (determinats al laboratori).

Fets el promitjos de cada grup (G.A.S. i G.S.S.), es varen contrastar amb paràmetres decisius de la condició física i amb el La<sup>+</sup> acumulat al final de la prova de camp.

### A. Resultats relatius al descens del pou de 50 metres.

	G.S.S.	G.A.S.
Endurança	63% +33.2	63% 31.9
Capacitat aeròbica màx.	24% 24.2	25% +27.1
Potència aeròbica	12% 17.3	12% +21.5
n	8	6

Endurança: % de treball realitzat per sota del Llindar Aeròbic del laboratori.

Capacitat Aeròbica màxima: % del treball realitzat entre els dos Llindars.

Potència Aeròbica: % del treball realitzat pel damunt del Llindar Anaeròbic.

### B. Resultats relatius al descens des de la boca fins a -109 metres.

	G.S.S.	G.A.S.
n	8	6
Endurança	88% +12.6	81% +17.3
Capacitat aeròbica màx.	8,9% +9.38	13% +13.48
Potència aeròbica	2,8% +4.06	5,8% +8.66

### C. Resultats relatius a l'ascens des de -109 m a la superfície.

	G.S.S.	G.A.S.
n	8	6
Endurança	83.3% +11.78	67.89% +26.02
Capacitat aeròbica màx.	11,4% +8.62	12,52% +12.53
Potència aeròbica	5.08 +5.71	19.7% +19.27

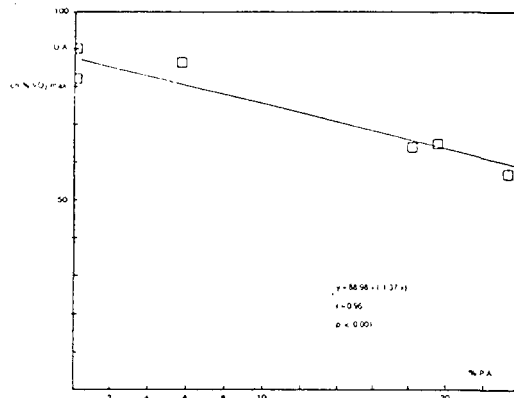
### D. Resultats relatius a l'ascens del pou de 50 metres.

	G.S.S.	G.A.S.
n	8	6
Endurança	45% +28.9	40.5% +45
Capacitat aeròbica màx.	28,5% +21.45	18,3% +24.36
Potència aeròbica	26.3% +13.5	41% +37.7

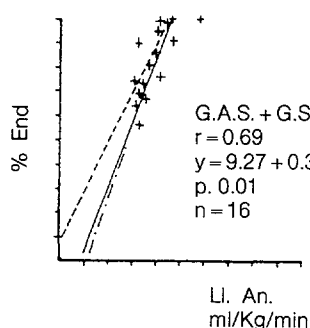
El pas següent va ésser constatar si hi havia relació entre els resultats obtinguts en cada segment de la gràfica de cardiotaquímetre de cada subjecte, amb paràmetres relatius a la condició física i grau de preparació física del subjecte, observant que els resultats dels segments "A" i "B", corresponents al descens del pou de 50 m i al descens de la boca de la cavitat fins 109 m, no eren congruents (massa elevat el metabolisme anaeròbic) ni tenien correlació estadística amb cap dels paràmetres avants esmentats.

En canvi sí que hem trobat correlació estadística entre els resultats generals de l'ascens desde 109 metres a la superfície, amb paràmetres relatius a la condició física:

### Relació entre el grau de preparació física de l'esportista i el % de treball de potència aeròbica en la prova de camp en el grup amb sobrecàrrega



## Relació entre el % d'endurança i el Llindar Anaeròbic en valor absolut (ml/kg/min):



G.A.S. + G.S.S.  
 $r = 0.69$   
 $y = 9.27 + 0.36 x$   
 $p = 0.01$   
 $n = 16$

G.A.S.  
 $r = 0.86$   
 $y = 2.72 + 0.49 x$   
 $P < 0.001$   
 $n = 7$   
 representat: -----

G.S.S.  
 Sense significació estadística.  
 representat: -.-.-.-.-

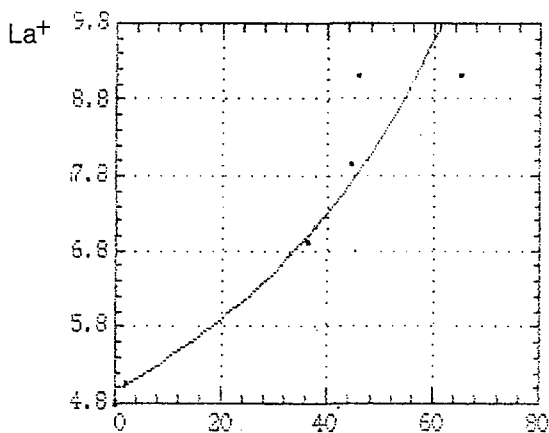
Això ens ha dut a centrar el nostre estudi sobre despesa calòrica als fragments de gràfica que no indiquen alteració de les freqüències cardíaques en relació a les del laboratori.

Conseqüència de tot això, és que només considerem l'ascens desde 109 metres a la superfície i l'ascens del pou de 50 metres.

Finalment s'estudia en el període d'exploració seleccionat la correlació del  $La^+$  produït pels voluntaris del grup amb sobrecàrrega, amb el % de treball realitzat pel damunt de la freqüència cardíaca del Llindar Anaeròbic amb el resultat:

## Relació entre $La^+$ produït a la prova de camp i el % de treball mixt des de -109 m al grup G.A.S.

$$1/Y = 0.201766 + (-0.00162) x$$



$r = -0.969257$   
 $t = -7.878$   
 $p < 0.0014$

Seguint el mètode descrit per Fox, obtenim a partir de la mitja de F.C. de cada minut de la gràfica de cardiotaquímetre el consum d'oxigen.

Pels períodes de treball amb F.C. inferiors al Llindar Anaeròbic, hem suposat que s'utilitzaven lípids com a combustible i hem multiplicat el corresponent consum d'  $O_2$  per 4.74, que són les Kcal en

terme mig que s'alliberen per cada litre d' $O_2$  consumit.

En les F.C. superiors al Llindar Anaeròbic, hem acordat que els combustibles són glícids i per això hem multiplicat el consum d' $O_2$  de cada minut per 5.05, que són les Kcal que s'alliberen per terme mig.

En els períodes de franca recuperació, hem utilitzat les rectes de regressió de recuperació. (Veure gràfiques de recuperació 17 i 18)

## Resultats

Els resultats els expressem en Kcal. Això té la limitació abans esmentada d'adoptar el conveni sobre el punt en què hi ha canvi de substrate energètic, també els expressem en forma de consum d' $O_2$  però té un gravíssim inconvenient ja que l'oxigen consumit en la degradació de glúcids, no té la mateixa significació energètica que quan es degraden lípids, per tot això i també per la seva fàcil comprensió hem fet l'estudi utilitzant els resultats expressats en Kcal.

### Resultats relatius a l'ascens des de -109 m a la superfície

#### Grup amb sobrecàrrega

	Kcal	$VO_2$
Blanca	470.20	111.6
Jaume M.	512.21	122.71
Clapés	795.36	202.78
Arroyos	681.56	156.75
Icard	749.55	173.25
Renom	368.04	88.17
X:	596.13	+170.53

#### Grup sense sobrecàrrega

	Kcal	$VO_2$
García	255	60.26
Peña	244.8	66.34
Sospedra	599.8	140.64
Miró	817.34	193.51
Gascó	575.08	137.89
Mercé	278.88	66.86
Caumons	783.72	186.15
Guzmán	546.78	131.15
X:	512.63	+230.44

## Resultats relatius a l'ascens del pou de 50 m

### Grup amb sobrecàrrega

	Kcal	VO <sub>2</sub>
Blanca	146.09	33.96
Jaume M.	158.73	38.03
Clapés	224.99	50.61
Arroyos	252.11	56.7
Icard	183.86	41.77
Renom	110.51	26.49
	X: 179.38	+ 52.28

### Grup sense sobrecàrrega

	Kcal	VO <sub>2</sub>
Sospedra	113.69	25.6
Miró	164.2	36.96
Gascó	101.72	24.40
Mercè	81.75	19.62
Caumons	129.71	30.0
Guzmán	132.44	31.77
Peña	104.28	24.8
García	87.03	19.6
	X: 114.35	+ 27.04

No hi ha diferències estadístiques entre els dos grups (G.A.S. i G.S.S.). Cal pensar que la sobrecàr-

rega tot i tenir influència,, no és el factor decisiu sobre les diferències individuals.

Nota: Per a determinar si hi ha diferències estadístiques hem aplicat mètodes no paramètrics com és: La "U" de Mann-Whitney.

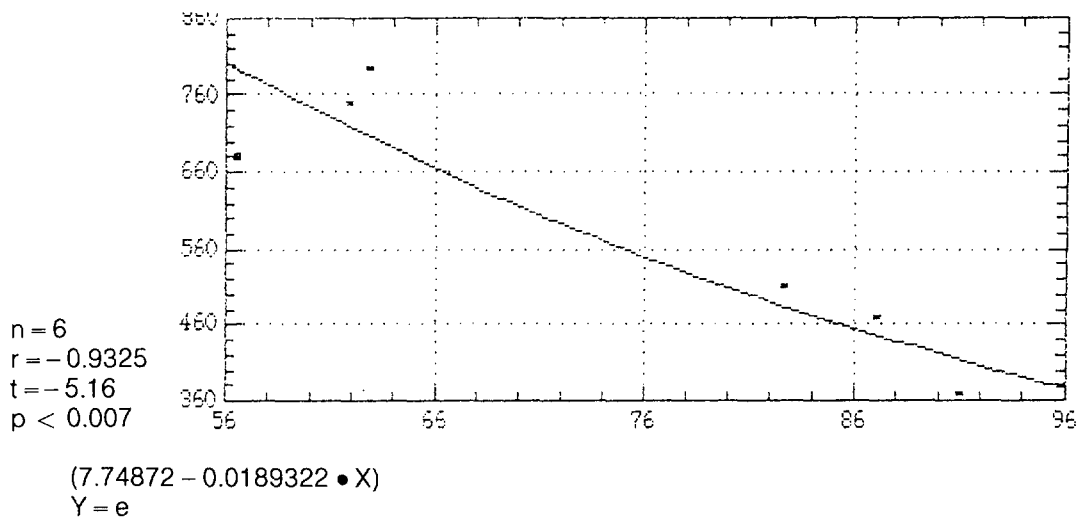
## Novament el Llindar Anaeròbic

En la primera part de l'estudi de gabinet hem vist com el Llindar Anaeròbic expressat en valors absoluts, és a dir en mililitres/kg/min d'O<sub>2</sub> juga un paper decisiu en el % de metabolisme realitzat en règim aeròbic, en un grup d'espeleòlegs que són sotmesos a una determinada exploració, similar entre ells, de manera que els subjectes que superen un determinat nivell (45 ml/kg/min) són capaços de superar la prova amb un 100% del treball realitzat amb unes F.C. inferiors a les del Llindar Anaeròbic.

Novament el Llindar Anaeròbic juga un paper determinant en l'estudi de la despesa energètica en l'exploració espeleològica. Aquesta vegada expressat en % del VO<sub>2</sub> màx. Expressió doncs de l'eficiència dels mecanismes respiratoris d'un subjecte amb unes capacitats donades.

Es pot veure a la recta de regressió que com més alta és l'eficiència respiratòria, més econòmica és l'exploració desde el punt de vista energètic, expressat en VO<sub>2</sub> o en Kcal.

Tot i acceptant que degut a les limitacions del mètode, els resultats de la nostra experiència són aproximats, ressaltem la gran significació estadística entre el % del Ll. Anaeròbic i la despesa en Kcal, calculada per a cada subjecte:



Per aquest fet ens hem decidit a preparar una línia de regressió, expressió del règim calòric per hora, en funció de l'eficiència respiratòria (grau de preparació física), expressada en el Llindar Anaeròbic. Té una finalitat eminentment pràctica i dirigida als practicants de l'espeleologia.

Correlació: règim calòric horari en funció del Llin-  
dar Anaeròbic.

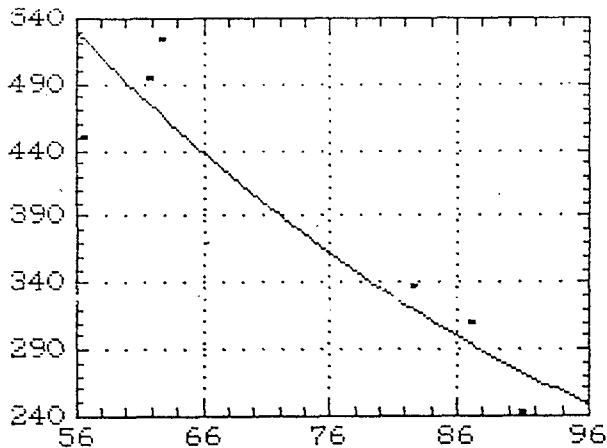
$$Y = e(7.33387 - 0.0189445 \cdot X)$$

$$Y = e$$

$$r = -0.932805$$

$$t = -5.17676$$

$$p < 0.007$$



## Discussió dels resultats

1. El Llin-  
dar Anaeròbic és el paràmetre fonamental  
per a estudiar el grau de preparació física en  
espeleologia.

2. La despesa calòrica individual en espeleologia en condicions similars a la de l'experiència realitzada, oscil·la entre 250 i 550 kcal/h. No obstant creiem que no pot parlar-se d'una xifra típica de despesa calòrica sinó més aviat d'una banda de consum calòric en la que té una gran influència el grau de preparació del subjecte, també influirà el pes del subjecte i de forma no tan estreta l'edat del mateix. Aquestes xifres que donem podran ésser sobrepassades en més i en menys en subjectes de gran pes i en subjectes molt lleugers.
3. És notable l'impacte de la preparació física en la despesa calòrica de manera que per a subjectes d'un mateix pes, un poc entrenat pot doblar la despesa calòrica respecte a un altre amb un alt grau de preparació física. L'entrenament adaptat permet una espectacular economia de la despesa calòrica.
4. Amb proves de laboratori rutinàries és possible pronosticar la despesa calòrica individual, a partir del Llin-  
dar Anaeròbic, el pes i l'edat.
5. Aquests criteris no seran vàlids en condicions especials d'exploració: Natació, desobstrucció, "ramping"... on lògicament la despesa estarà augmentada.

## Bibliografia

1. WASSERMANN, K.; WHIPP, B.J.; KOYAL, S.N.; AND BEAVER, W.L.: Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J. Appl. Physiol.* 35 (2) 236-243. (1973).
2. ASTRAND, I.: Aerobic work capacity in men and women with spend reference to age. *Acta Physiol. Scand.* 1960 Suppl. 160..
3. ASTRAND, P.O.; RODOLH, K.: *Manuel de Physiologie de l'exercice musculaire* Masson Cie ed. 1973, 606 p.
4. SAUMADE, P.: Étude de comportement de l'homme en milieu souterrain, bilan d'une serie d'experiences. *Ann. Spéléol. (moulist)* 29 (2). (1974).
5. COLLET, G.T.: Problemes causes par la fatigue en Spéléologie. *Spéléo-Tema.* 8 (11) 15. (1978).
6. GUILLAUME, F.: Les modifications a l'effort en spéléologie. *Applications pratiques, notions de physiologie générale.* *Quelque part sous terre,* 3 21-25. (1979).
7. GUILLAUME, F.: Les modifications biologiques a l'effort en spéléologie. *Applications pratiques a la dietetique et a la conduite des explorations.* E.F.S. Dossier d'instruction. Chap. 4. 2., p.6. (1980).
8. BLANCHARD, J.M.: Contribution a l'étude de l'épuisement du spéléologue en milieu souterrain. *Application de la nécessité de la medicalisation de secours souterraine de SAMU 37.* - Thèse de doctorat de Médecine, Université de Tours (F). (1982).
9. BARIOD, J. (Doc): Reflexion sur l'hypotermie. -FFS. *co/Med;* 50 reunion, Chalain. p 39-45. (1982).
10. DUCHATEAU, U.K.: Spéléologie en Fyscke Conditio. -*Spéléo-Flash,* 138/vts: 3-5. (1983).
11. TEISSIER, F.: Physiologie sportive adaptée à la spéléol. -*Spéléologie,* 124: p.13-15. (1984).
12. DELMAS, Doct.: L'Aptitude a l'effort en Spéléologie, *Spelunca,* 19: p.33. (1985).
13. MARBACH, G.; RECUORT, J.-L.: Techniques de la

- Spéléologie Alpine. MILLAU (Aveyron). Artipo. p. 341. (1980).
14. GUAL, J.: Prevenció d'accidents i autosocors. E.C.E.; p. 10 (1984).
  15. PRAT, J.A.: Características de las cargas en el entrenamiento de alpinismo. Jornadas de Med. de Mont. Euskadi. Mayo, 1983.
  16. DRESSLER, B.; MINVIELLE, P.: La Spéléologie. ED. Denoel p. 192-195 (1979).
  17. TALLADA, N.: Fundamentos de la Espeleología. p. 42-49 (1987).
  18. BALCELLS, M.; PRAT, J.A.; YZAGUIRRE, I.: Perfil Fisiològic i càrregues de treball en espeleologia. Apunts -1986- vol. XXIII, p. 217.
  19. BIGARD, A.X.: Biathlon, Étude de la dépense énergétique au cours d'une épreuve. Med. du Sport, Tome 61 n.2 p.70 (1987).
  20. CHAMOUX, A.: "Le système Holter"; Med. du Sport, T. 58 n. 5 p. 43-243 (1984).
  21. ECLACHE, J.P.; BELLEVEGUE, A.; CHAUDIER, B.; DESCHAUMES, C.: Analyse de qualité du cardiofréquence-mètre Spor Tester PE 3000. Travail de l'association Sport Biologie.
  22. POTY P.; OLAGNIER, H.; LACOUR, J.K.: Enregistrement de la fréquence cardiaque de cyclistes en compétition. Medicine du Sport. n. 57: 298-303. (1983).
  23. BENSCH, C.; DELIAC, P.; MIRANDE, B.; FOUILLLOT, J.P.; OTTOZ, H.: Evolution des fréquences cardiaques de sujets non sportifs au cours de longues randonnées pédestres successives en moyenne altitude. Medic. du Sport. n. 3. 58: 138-143 (1984).

