"ESTUDIO SOBRE LA ADAPTACION DEL ORGANISMO AL EJERCICIO FISICO TRAS EL ASCENSO SUBITO A ALTA ALTITUD"

ANGEL GUTIERREZ SAINZ

UNIVERSIDAD DE GRANADA

ACTA DEL GRADO DE DOCTOR EN MEDICINA

Curso de 1986 a 1987 Folio 219 Número 415

Reunido en el día de la fecha el Tribunal nombrado para el Grado de Doctor d[on] Angel Gutierrez Gaitz, el aspirante leyó un discurso sobre el siguiente tema, que libremente había elegido: Estudio sobre la adaptación del organismo al ejercicio físico mediante el ascenso súbito a la altitud.

Terminada la lectura y contestadas las objecciones formuladas por los Jueces del Tribunal, este le calificó de APTO

Granada 1 de Junio de 1987

El Secretario del Tribunal,

EL PRESIDENTE,

El Vocal,

El Vocal,

El Vocal,

Firma del Graduando

INVESTIDURA. En el día de la fecha se ha conferido a D. .....
.....el Grado de Doctor en la Facultad de .....
conforme a lo prevenido en las disposiciones vigentes.

Granada.....de..... .....de 19.....

EL DECANO,

CERTIFICO: Que el Acta que antecede concuerda con la del expediente del interesado remitida a la Secretaría de la Universidad.

Granada.....de.....de 19.....

El Catedrático Secretario,

V.° B.°
EL DECANO,

MANUEL CASTILLO GARZON, PROFESOR TITULAR DE FISIOLOGIA HUMANA, DE LA FACULTAD DE MEDICINA DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA,

CERTIFICA:

Que el trabajo original de investigación que presenta al superior juicio del tribunal que designe la Facultad de Medicina de la Universidad de Granada **DON ANGEL** GUTIERREZ SAINZ, sobre el tema **"ESTUDIO SOBRE LA ADAPTACION DEL ORGANISMO AL EJERCICIO FISICO TRAS EL ASCENSO SUBITO A ALTA ALTITUD"**, ha sido realizado bajo mi dirección durante los cursos 1984-85, 1985-86, 1986-87, siendo expresión de la capacidad técnica e interpretativa de au autor, en condiciones tan aventajadas que le hacen acreedor del grado de DOCTOR, siempre que así lo considere el citado tribunal.

Fdo.. M. Castillo Garzón.

Granada, Marzo 1987.

CARLOS OSORIO PELAEZ, CATEDRATICO DE BIOQUIMICA Y BIOLOGIA MOLECULAR DE LA FACULTAD DE MEDICINA DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA,

CERTIFICA:

Que el trabajo original de investigación que presenta al superior juicio del tribunal que designe la Facultad de Medicina de la Universidad de Granada DON **ANGEL** GUTIERREZ SAINZ, sobre el tema **"ESTUDIO SOBRE LA ADAPTACION DEL ORGANISMO AL EJERCICIO FISICO TRAS EL ASCENSO SUBITO A ALTA ALTITUD"**, ha sido realizado bajo mi dirección durante los cursos 1984-85, 1985-86, 1986-87, siendo expresión de la capacidad técnica e interpretativa de su autor, en condiciones tan aventajadas que le hacen acreedor del grado de DOCTOR, siempre que así lo considere el citado tribunal.

Fdo.: C. Osorio Peláez

Granada, Marzo 1987

ESTE TRABAJO HA SIDO POSIBLE GRACIAS AL APOYO RECIBIDO DEL I.C.E.F. Y D. A TRAVES DE UNA BECA DE AYUDA A LA INVESTIGACION.

A MIS PADRES

POR SU CARIÑO. POR SU CONFIANZA.
LA IMAGEN VIVA DE SU ESFUERZO HA SIDO SIEMPRE EL ESTIMULO PARA MI SUPERACION.

A MIS HERMANOS.

POR TANTOS BUENOS RATOS COMPARTIDOS. POR TODO LO QUE ME HAN ENSEÑADO ACERCA DE LA AMISTAD.

A MI COMPAÑERA CARMEN, *QUE DA SENTIDO A TODO LO QUE HAGO.*

A MIS HIJOS, *AITON ALEXANDER Y A TI QUE VIENES. CON TODA MI TERNURA.*

Agradezco sinceramente la ayuda brindada para la realizacion de este trabajo por el departamento de Fisiologia y Bioquimica de la Facultad de Medicina de Granada, a las srtas. S. DONAIRE, M. QUINTANA, R. ARCAS, R. AGUILERA, A. MUNOZ, y especialmente a Maria Jose AYALA quien me brindo especial apoyo durante toda la realización del trabajo de analisis y clasificación de las muestras obtenidas.

Agradezco también la colaboracion del servicio de hematologia del hospital clinico San Cecilio y a su directora, la Dra. Nieves PEREZ GALVEZ por la realización de los analisis de las mustras sanguineas, mostrando siempre un gran interés interés por el desarrollo y resultados del presente trabajo.

QUIERO EXPRESAR DE FORMA MUY ESPECIAL MI AGRADECIMIENTO A QUIEN ME BRINDO SU APOYO Y DEPOSITO EN MI SU CONFIANZA. EL SUPO CONTAGIARME SU ENTUSIASMO , SU AMOR AL TRABAJO, SU DEDICACION A LA LABOR INVESTIGADORA. SIEMPRE TUVO UN CONSEJO, UNA PALABRA DE ALIENTO, SIEMPRE TUVO UN MOMENTO PARA MI. PERO, POR ENCIMA DE TODO, ME OBSEQUIO CON SU AMISTAD. EN EL VERE SIEMPRE A UN AMIGO ANTES QUE UN DIRECTOR DE TRABAJO. GRACIAS MANUEL.

INDICE

JUSTIFICACION DEL TRABAJO 1

Ejercicio en altitud: Granada y Sierra Nevada..... 2

Condiciones topograficas y climatologicas de la sierra Granadina 5

Fisiologia y tecnicas del entrenamiento deportivo 10

INTRODUCCION 19

I.- Caracteristicas fisico-ambientales de la altitud. 22

- *La presión atmosférica*..... 22

- *Factores climatológicos*..... 27

II.- Consecuencias del ascenso y permanencia en alta altitud sobre el organismo humano 29

- *Antecedentes historicos* 29

III.- Adaptacion fisiologica al ejercicio fisico..... 36

A) Adaptación metabólica 36

- *Consumo maximo de oxigeno* 36

- *Umbral anaerobico* 39

- *Masa muscular que trabaja en el ejercicio* 46

- *Trabajo intermitente* 48

B) Adaptación cardiorespiratoria del organismo al trabajo muscular 50

B.1.- Papel general de la función respiratoria ... 50

- Respiración en reposo 50

- Fijación y transporte de oxígeno 51

- Utilización periférica de oxígeno 52

- Adaptaciones respiratorias durante la actividad física 53

B.2- Adaptación cardiovascular al ejercicio físico 55

- Frecuencia cardiaca y trabajo muscular 55

- Valores y variaciones de la frecuencia cardiaca 58

- Relación entre frecuencia cardiaca y consumo de oxígeno 60

- Débito cardiaco y presión arterial en el curso del trabajo 60

C) Regulación de los procesos de adaptación cardiovascular al ejercicio 64

D) Modificaciones Fisiológicas del organismo en altitud 65

Durante el reposo: Generalidades 65

Consumo de oxígeno basal o de reposo 65

Ventilación pulmonar 66

Débito cardiaco 66

Características hemáticas y bioquímicas 68

IV.- Modificaciones fisiologicas durante el trabajo en altitud 70

El trabajo en alta altitud: generalidades 70

A) Durante el ascenso y la aclimatación 70

- Consumo de oxigeno durante el trabajo 70

- Consumo de oxigeno segun la potencia desarrollada 71

- Exposición aguda y aclimatación 73

- Nativos en alta altitud 73

- Ventilación pulmonar 74

- Débito cardiaco 74

- Variaciones de la frecuencia cardiaca 74

B) Durante el ejercicio 76

- Tension arterial 77

- Parametros sanguineos 77

- Acido lactico y pH 78

- Lactacidemia tras esfuerzos prolongados 79

- Metabolismo hidroelectrolitico 80

- Secrecion de HGH y hormonas tiroideas en respuesta al ejercicio en altitud 81

- Catecolaminas 81

- Sistema Renina-Angiotensina-Aldosterona 82

- Hormona antidiurética 83

- Insulina y glucagon 83

- Adaptacion metabolica al ejercicio en altitud 83

- Modificación del comportamiento anaerobico .. 84

Patología unida a la hipoxia de altitud 86

OBJETO DEL TRABAJO 92

MATERIAL Y METODOS 95

- Material y método experimental 96
  - # Protocolo experimental 98
  - # Diseño experimental 108
  - # Sujetos 110
    - Examen previo 112
    - Exploración física 113
    - Subgrupos 114
    - Situación temporal 118
  - # Recogida de muestras y análisis realizados.. 119
    - Otras pruebas realizadas 123
    - Espirografía 123
    - Determinación del somatotipo 124
  - # Material laboratorio fisiología del ejercicio 128
  - # Análisis estadístico 135

RESULTADOS 144

I- Adaptación cardiovascular de un grupo de adultos sanos a un protocolo de ejercicio físico intermitente 149

- Parametros funcionales 157

II- Adaptacion cardiovascular al ejercicio fisico en superficie y altitud 160

III- Cambios hematologicos y metabolicos como consecuencia del ejercicio fisico en superficie y altitud 165

IV- Adaptacion cardiovascular, hematológica y metabolica al ejercicio fisico en superficie y altitud en funcion del grado de entrenamiento previo de los sujetos estudiados 169

- Variaciones de la frecuencia cardiaca 171

- Variaciones de la tension arterial 178

- Variaciones del ISTT 186

Parametros funcionales 192

Cambios hematologicos 198

Cambios metabolicos 210

- Variaciones de insulina, glucagon, glucemia y acidos grasos 210

- Variaciones de acido lactico 224

- Variaciones de Colesterol, triglicéridos, HDL-colesterol y LDL-colesterol 230

- Variaciones de ACTH, HGH y SOMATOMEDINA-C. 245

DISCUSION 257

I .- DISCUSION DEL METODO EXPERIMENTAL UTILIZADO 260

II .- ESFUERZO FISICO: RESPUESTAS Y ADAPTACIONES 265

Factores que influencian la capacidad de trabajo 265

Metodos para la evaluacion de la condición fisica..... 273

Adaptacion cardiovascular al ejercicio fisico en altitud 307

Parametros Funcionales 320

- Consumo máximo de Oxigeno 321

- Umbral aeróbico 325

- Capacidad de Trabajo a 170 pulsaciones ... 326

- Trabajo relativo 327

ELECTROCARDIOGRAMA 329

III.- CAMBIOS HEMATOLOGICOS INDUCIDOS POR EL EJERCICIO FISICO Y EL ASCENSO A ALTA ALTITUD..... 331

IV .- REGULACION HORMONAL Y DEL SUBSTRATO ENERGETICO DURANTE EL EJERCICIO EN AMBIENTE NORMOXICO Y EN ALTITUD 337

* Variacion en los valores de Glucemia, Insulina y Glucagón 354
* Variacion en los valores de acidos grasos 363
* Variacion en los valores de acido lactico..... 366
* Variación en los valores de la serie grasa : Triglicéridos, Colesterol, HDL-Colesterol y LDL-Colesterol 379
* Variación de los valores de ACTH 384
* Variación de los niveles de HGH 388
* Variación de los valores de Somatomedina-C ... 393

CONCLUSIONES 398

BIBLIOGRAFIA 402

JUSTIFICACION Y PROPOSITOS

EJERCICIO EN ALTITUD: GRANADA Y SIERRA NEVADA .

Una de las características definitorias de Granada, tanto capital como provincia, es la existencia de Sierra Nevada, con su microclima y circunstancias particulares entre la que destaca su extraordinaria cercanía al núcleo urbano. Esto permite la práctica de diversos tipos de deportes, tanto de invierno en la estación de esquí como de montaña en general el resto del año, con la diferencia respecto a otros lugares de la proximidad entre la capital y la sierra que permite practicar esos deportes mediante desplazamientos que duran menos de una hora en tiempo real, motivo por el cual gran número de personas de todas las edades, pero fundamentalmente adultos jóvenes, que practican o no deporte regularmente, suben con variable asiduidad, o al menos ocasionalmente a Sierra Nevada para la práctica de alguna actividad deportiva, que en la mayoría de los casos es bastante intensa e incluso extenuante.

Por otro lado, y dadas las particulares circunstancias geográficas y socioeconómicas que reúne la provincia de Granada ésta ha sido propuesta en numerosas ocasiones para ser sede de uno de los 3 centros de alto rendimiento con los que el Consejo Superior de Deportes pretende dar auge al deporte español de élite.

Estos tres centros estarían situados uno al nivel del mar, otro en altitud y otro en una gran ciudad.

Sierra Nevada podría contar con uno de estos centros de entrenamiento.

Para algunos autores la altura ideal para la práctica de la actividad física en ambiente hipóxico, con la finalidad de mejorar la capacidad física a la vuelta al nivel del mar, es la de 2.400 metros, mietras que otros autores (CORBEAU, 1983) opinan que no se han de superar los 1800 metros.

Experiencias alemanas llevadas a cabo en la cordillera andina, han puesto de manifiesto mejoras en el rendimiento entrenando a 2000 metros durante 3 horas diarias, y realizando el resto de la jornada en albergues a 3200 m, en reposo.

Otros por el contrario, viven en alturas inferiores y solamente suben para realizar los entrenamientos a una cierta altitud.

En cualquier caso, no es solamente el factor altitud el que determina la posible ganancia, aún no confirmada con certeza, de condición física al volver al nivel del mar (GISOLFI, 1987). Hay otros factores, tal como el grado de motivación del atleta, estudiado por algunos autores para quienes el factor psicológico es más importante que el fisiológico:

- Cambio del marco de entrenamiento.

- Cambio de clima

- Instalaciones técnicas casi perfectas en los centros de altura

- Tranquilidad y sosiego, alta concentración en el trabajo, que favorecen la óptima distribución de las fases de entrenamiento y recuperación.

- Alejamiento de la competición, que a la larga produce "ansias" de competir.

Los terrenos existentes en SierraNevada, previstos inicialmente para la instalación de éste centro se encuentran entre las cotas topográficas de 2.374 y 2 302 mts, con unos 500 m de longitud por 200 de anchura, constituyendo una doble ladera con orientación sur (12 a 18 % de pendiente) sureste (19 a 45 % de pendiente).

El solar de forma rectangular está apoyado por sus laterales Norte-Noroeste en la carretera que asciende desde Prado llano hasta la confluencia de la carretera que se dirige al Albergue de Turismo situado a 2.500 metros de altitud, final de etapa en la reciente vuelta ciclista a España.

CONDICIONES TOPOGRAFICAS Y CLIMATOLOGICAS

DE LA SIERRA GRANADINA.-

Las condiciones topográficas del terreno pueden considerarse accidentadas, aunque se trata de las mejores que pueden encontrarse en las zonas próximas a Pradollano (estación invernal de esquí), por lo que a juicio de los arquitectos expertos en éstos temas se consideran aceptables.

Por otro lado, al tratarse de unas laderas bien orientadas solarmente pueden concebirse las construcciones buscando un aprovechamiento máximo de luz natural y del sol como fuente energética.

Asímismo la topografía en vertiente favorece una concepción arquitectónica escalonada, que ofrece más posibilidades que las que brinda una superficie plana.

Las condiciones de accesibilidad a la Estación de Invierno "Sol y Nieve", y en particular a los terrenos anteriormente citados son buenas en lo referente al acceso rodado, dadas las características de las carreteras existentes en cuanto a trazado, anchura y firme por dos accesos diferentes.

La relacion con el acceso por via aerea es simplemente correcta, dada la escasa distancia existente con el aeropuerto de Granada. Esta distancia con el aeropuerto en cualquier caso no es decisiva, pues quien acuda a la sierra lo hará, por motivos de entrenamiento o competición, por periodos de 5 a 21 días.

El contingente de asistentes estaría constituido por deportistas de alto nivel de diferentes especialidades, técnicos deportivos, dirigentes, profesionales de la información, turistas,etc, que por diversos motivos (stages de entrenamiento, cursillos técnicos, competición en altitud, vacaciones etc...) residirían un número elevado de días.

Las condiciones climatológicas del lugar son las inherentes a una zona de alta altitud que ya conocemos, y que pueden considerarse como extremas desde Octubre hasta Abril.

Este centro de alto rendimiento estaría dirigido a la consecución de un alto rendimiento deportivo, aunque es tambien compatible con el simple uso recreativo de sus instalaciones por los visitantes, por lo que su instalación seria altamente deseable. Pero no es objeto del presente trabajo determinar la conveniencia de realizar Centros de alto rendimiento Deportivo en condiciones de altitud geográfica, sino de los efectos que los existentes y/o los proyectados pueden ocasionar sobre el organismo humano,no tan sólo en deportistas, sino en cualquier persona que ascendiendo a esa altitud someta a su organismo a un trabajo exhaustivo.

Entendemos como necesaria la creación de centros de entrenamiento y competición en altitud por los grandes beneficios que a determinadas especialidades deportivas ofrece un entrenamiento en éstas condiciones, así como las mejoras en las marcas que a otras especialidades provoca la competición en ésta altitud.

Puede decirse que todos los deportes que tengan un fuerte componente de resistencia orgánica para esfuerzos de larga duración (endurance) encuentran un beneficio al realizar aquí periodos de entrenamiento, para luego competir a escasos metros del nivel del mar, en unos plazos de readaptación ya establecidos según la prueba, entre el 2º y 6º día para distancias cortas, y del 10º al 21 para distancias largas, con un claro componente individual que hay que conocer previamente.

Por contra, todos los deportes o especialidades que tengan un fuerte componente anaeróbico, velocidad, potencia, etc, en definitiva esfuerzos de corta duración, encontraran un beneficio al competir en ésta altitud geográfica con una mejora sustancial en sus marcas. Así por ejemplo los records mundiales de longitud y 100 m lisos se obtuvieron en México, a más de 2500 m, y en Colorado Spring, a 2420 m sobre el nivel del mar.

La experiencia que proporciona la observación de algunos centros de altitud existentes en otros países (Font-Romeu, Pirineo Francés, URSS , México etc) nos indica que salvo el francés los demás no pueden considerarse centros de alto rendimiento debido a la escasez de instalaciones que poseen.

Existen en el mundo numerosos laboratorios situados en media y alta altitud que investigan los fenómenos de adaptación del organismo al ambiente hipóxico. Los principales son:

NOMBRE	LUGAR	ALTITUD
Laboratorio Física Cósmica Chacaltaya	Boivia La Paz	5200m
Capanna Margherita	Monte Rosa (Italia)	4560m
Inst. of Andean Biology	Morcocha (Perú)	4540m
Inst. de Biología de altura	Mina Aguilar (Argentina)	4500m
Observatoire Vallot	Mont Blanc (Francia)	4353m
Mount Evans	Colorado (USA)	4343m
White Mountain	California (USA)	4300m
Pike's Peak	Colorado (USA)	4300m
Lab. Testa Grigia	Val D'Aosta (SUIZA)	3457m
Jungfraujoch High Altitud Research Station	Berner Oberland Austria	3350m
Instituto Geofísico de Huanacayo	Huanacayo (Perú)	3350m
Echo Lake Research Station	Colorado (USA)	3261m
Inst. Angelo Mosso	Monte Rosa (Italia)	2864m

En la actualidad son muchos los países europeos que han elegido la sierra de Granada para realizar sus entrenamientos, aun a pesar de no poseer material ni medios en absoluto donde entrenar, pero si disfrutar de un clima privilegiado a una altitud en la que en el norte de Europa predominan las ventiscas y nevadas, y el entrenamiento es imposible salvo en instalaciones cubiertas.

El caracter de viabilidad económica que se le da a estos centros para establecer la aprobación de la realización de un proyecto de esta magnitud, pasa por darles una doble finalidad alta competición - recreación, por parte de habitantes de las proximidades, y convertirlo en un centro Invierno-Verano.

Como consecuencia, a una considerable altura, un grupo de personas deportistas de alto, medio y bajo nivel, junto con un mucho mayor número de personas sedentarias o deportistas ocasionales, ascenderían para someterse a una actividad física a menudo exigente, en condiciones adversas (frío, radiaciones, ambiente hipóxico ...) sin preparación física previa, y en ocasiones para un sólo día o varias horas de ese mismo día, con lo que sin periodo de aclimatación previo se sometería al organismo a un considerable stress.

En consecuencia, trás ascenso súbito a alta altitud en personas deportistas y sedentarias : ¿ qu factores de riesgo hay que considerar y de qué forma es necesaria su valoración para proceder al planteamiento de una correcta prevención ?

Por otro lado, es tambien conveniente conocer la influencia que sobre nuestro organismo tiene la práctica de actividad fisica en una altitud muy por encima de la que se vive habitualmente, y si esa influencia es diferente en función del grado de entrenamiento o actividad deportiva que realice el sujeto.

Con el fin de responder a esas preguntas nos hemos planteado el presente trabajo, que tiene los objetivos que a continuación se detallan.

FISIOLOGIA Y TECNICAS DEL ENTRENAMIENTO DEPORTIVO:

El periodo contemporáneo de evolución del deporte se caracteriza por una importante mejora del rendimiento de alto nivel y de los récords. La evolución de los rendimientos deportivos se debe, en gran medida, a la elevación de las cargas de entrenamiento y de la competencia. Sin embargo debemos de considerar que a esas cargas se le han de agregar la carga de la acttividadprofesional y de los estudios.

El estudio de las leyes que regulan el proceso de recuperación y la investigación de las vías y los medios que aumentan la eficacia del descanso posterior a las cargas de entrenamiento y de la competición, revisten especial importancia.

El estudio del proceso de recuperación abarca tambien las variaciones funcionales esenciales, asi como las de tipo morfológico que aseguran el mejoramiento de la capacidad de trabajo y que, aunque transcurran durante el periodo de recuperación de las sesiones de entrenamiento, deben ser igualmente tomadas en cuenta para una planificación racional del entrenamiento deportivo.

Son numerosas las investigaciones que se han consagrado a las cuestiones de la recuperación en el deporte, habiéndose abordado varios aspectos de éste problema. El proceso de recuperación ha sido estudiado en forma inmediata a la ejecución de ejercicios físicos, asi como a medio o largo plazo.

Nosotros pretendemos profundizar en los procesos de recuperación y en la fatiga acumulada y su incidencia sobre la carga posterior, durante la práctica misma de una actividad física realizada no de forma continua, sino fraccionada, por varios motivos:

- El trabajo profesional normalmente viene intercalado por breves perio_dos de descanso.

- La práctica del esquí es asimismo un trabajo fraccionado con pausas de recuperacion en altitud.

- Las funciones de recuperacion durante el trabajo se caracterizan por una serie de particularidades que determinan no solamente el proceso de recuperación, sino tambien sus relaciones con la actividad muscular precedente y siguiente, asi como la disposición para tomar el trabajo.

Entre las particularidades conviene notar:

1 - La duración irregular de los procesos de recuperación.

2 - El carácter fásico de la recuperación de la capacidad de trabajo muscular.

3 - El carácter heterogéneo de la recuperación de las diferentes funciones vegetativas.

4 - El desfase temporal de la recuperación de las funciones vegetativas, por una parte, y de la capacidad de tabajo muscular por otra.

- Ejercicio continuo versus intermitente: se ha debatido a menudo si el entrenamiento físico es más eficaz cuando se realiza el trabajo de una forma continua o en forma intermitente, es decir, con periodos de un mayor trabajo muscular intensivo, seguidos por periodos de ejercicio moderado o incluso de reposo.

Tanto el trabajo continuo, como el de repetidos periodos de trabajo, pone en funcionamiento el sistema de transporte de oxígeno que queremos evaluar, induciendo de este modo un efecto de entrenamiento, siempre que las cargas sean elevadas.

Estos motivos nos han llevado a aplicar un protocolo de trabajo como el que describimos en el apartado Material y Métodos, de trabajo intermitente , con 4 minutos de trabajo y uno de descanso.

Nuestro objetivo con la aplicación del presente protocolo en altitud, es determinar en qué medida se ve afectado el proceso de recuperación tanto en sedentarios como en deportistas, en función de que las mismas cargas son aplicadas a los mismos sujetos con la variable altitud, para planificar de forma objetiva los entrenamientos fraccionados en altura, conociendo las cargas de trabajo en superficie, dando cifras orientativas acerca de las fracciones trabajo:descanso (1:3 ; 2:5 ; etc) y como se ven afectadas estas relaciones por el efecto del ascenso a cotas notablemente superiores.

Dentro del mismo apartado, pretendemos objetivar las pérdidas que ocasiona la altitud de la sierra de Granada, al nivel previsto para el centro de alto rendimiento, sobre parámetros básicos para el rendimiento en caso de competición y para la planificación del entrenamiento, como son :

a- Consumo máximo de oxígeno

b- Umbral aeróbico

c- Capacidad de trabajo físico a frecuencias determinadas.

Los habitantes de zonas bajas que ejercen una actividad transitoria en altitud, pueden presentar dificultades al realizar determinadas actividades, o estar sujetos a problemas patologicos especificos de la altitud bien durante el curso de su vida normal, o bien durante uno de los cambios bruscos de nivel.

Por todas estas razones, es importante profundizar en las causas de los efectos de la altitud sobre el organismo humano, con especial énfasis en aquellas circunstancias que puedan implicar un mayor riesgo para el individuo y aquellas otras que puedan contribuir a una atenuación de éstos efectos.

APARATO CARDIOVASCULAR.-

a) PERFIL TENSIONAL .-

A raiz de entrevistas mantenidas con personal sanitario residente en la estación de esqui de Sierra Nevada, y directamente con pacientes que por motivos profesionales tienen fijada su residencia allí, y de mayor interés aún, con personas presentando hipertensión que suben y bajan diariamente a la estación a desarrollar su cometido profesional (conductor de autobus, repartidores, monitores...) nos planteamos la duda de si la altitud era un factor hipotensor, dado el efecto beneficioso que dichas personas refieren, sobre su dolencia (HTA) o bien son otras las causas de su bienestar.

Para ello pretendemos estudiar las curvas de adaptación tensional a un esfuerzo prolongado , objetivable y reproducible, en superficie (Granada) y altitud, para comprobar el efecto del ejercicio y la hipoxia sobre la dinámica circulatoria.

b) ALTERACIONES ELECTROCARDIOGRAFICAS.-

Han sido descritos diferentes cuadros electrocardiográficos diferentes del normal, como consecuencia de estancias prolongadas en altitud.

Pretendemos averiguar si el ascenso brusco a alturas similares es tambien un desencadenante de dichas anomalías, o más bien es el resultado de un proceso de adaptación.

METABOLISMO ENERGETICO :

MOVILIZACION DE SUSTRATOS :

Pretendemos obtener a través del protocolo empleado en el presente trabajo (con una carga impuesta durante un tiempo prolongado con intensidades crecientes) en qué medida los sustratos energéticos disminuyen por efecto de la prueba, sus niveles circulantes, fundamentalmente glucosa, triglicéridos y ácidos grasos libres, o bien si estos valores estan aumentados, siendo el tiempo y la carga insuficientes para producir agotamiento de reservas plasmáticas, y si la liberación de los mismos está aumentada o disminuída por efecto de la hipoxia generada por la altitud.

Asímismo, la lectura de los niveles de lactacidemia nos ofrecen la posibilidad de conocer la intensidad del metabolismo anaeróbico láctico, que supuestamente ha de solicitarse más en altitud, aunque los autores , tal como se cita en la introducción de éste trabajo, hasta ahora han encontrado resultados contradictorios.

Los niveles de HDL-Colesterol son considerados como factor de buen pronóstico en la prevencion de accidentes cardiovasculares.

Pretendemos definir las condiciones en que los valores de éstas lipoproteínas se incrementan con mayor significación, superficie o altitud, o bien si con el esfuerzo resultan

disminuidos, aunque es bien sabido que el entrenamiento ocasiona un aumento permanente de los mismos. Dentro de éste mismo apartado nos interesa conocer si aquellos sujetos presentando unos niveles de adiposidad más elevados, determinados a partir de la medición de los pliegues grasos cutáneos, movilizan con mayor o menor facilidad los sustratos energéticos provenientes de la reserva lipídica, o bien quienes movilizan con mayor facilidad dichos sustratos son los integrantes del grupo de población correspondientes a deportistas.

PARAMETROS SANGUINEOS.-

Es conocido que la adaptación a la altitud genera una hiperproducción de elementos de la serie roja, y determina incrementos de hemoglobina en sangre, - asimismo está descrita la falsa anemia del deportista.

Pretendemos nosotros profundizar en el estudio de las variaciones de los parámetros hemáticos tras ascenso súbito a altitud en sujetos sedentarios y deportistas, y las diferencias existentes entre ambos, entendiendo que una menor reacción hematopoyética en uno u otro grupo, generará diferentes respuestas cardiocirculatorias.

CINETICA HORMONAL.-

El entrenamiento fisico afecta a un gran número de hormonas, pero la importancia de éstas reacciones está lejos de ser evidente, al estar los músculos en reposo expuestos tambien a la acción de una concentración hormonal aumentada y no experimentar sin embargo cambio alguno.

Pretendemos averiguar las hormonas que un deportista moviliza por encima significativamente de lo que lo hace una persona sedentaria, para obetivar la acción del entrenamiento sobre la secreción.

En otro órden de cosas, interesa conocer aquellos sistemas que tras el ejercicio sufren mayores variaciones, fundamentalmente los relacionados con el aporte energético o movilización de sustratos: Insulina, Glucagón hormona de crecimiento.

En un tercer apartado intentamos observar el efecto de la hipoxia sobre la producción hormonal en sedentarios y deportistas, por si fuesen responsables en alguna medida de los problemas de la aclimatación en los primeros 60 minutos tras el ascenso.

INTRODUCCION

La ascensión a las altas montañas ha fascinado en todas las épocas a los seres humanos. La busqueda de nuevos descubrimientos llevó a los hombres más allá de la atmósfera , hacia el espacio exterior.

El hombre se encuentra asentado de forma permanente en la tierra desde el nivel del mar hasta alturas de aproximadamente 4500 m, aunque la mayoría de la población mundial vive y trabaja en territorios cuya altitud no sobrepasa los 1500 a 2000 metros. Sin embargo, para trabajos episódicos o por un oficio determinado, una fracción de la población viviendo habitualmente a nivel del mar o en altitudes moderadas (hasta 1000 metros) está obligada a realizar ascensos y descensos sobre importantes desniveles .

Se está tornando cada vez más popular pasar las vacaciones de verano y de invierno en zonas de alta montaña, lo que implica un ascenso y descenso sobre desniveles pudiendo alcanzar los 2500 o 3000 metros, desarrollando un trabajo en ocasiones bastante intenso, que implican la escalada, la marcha de montaña, el esqui... Ahora bien, el ascenso puede deberse tambien a motivos profesionales, que requieren un ascenso brusco para realizar moderados o grandes esfuerzos tales como los empleados de comunicaciones que trabajan en centros repetidores, electricistas que tienden tendidos eléctricos,

y acercandonos mas al tema del presente trabajo, el de los deportistas que con motivo de su ejercicio profesional, en determinadas ocasiones han de desplazarse desde sus zonas de residencia y entrenamiento habituales a localidades situadas a grandes alturas para realizar una actividad intensa y de corta duración.

Las aclimataciones, asímismo, cuando se preve una estancia larga o la competición durante semanas en altitud, caso de recientes olimpiadas y campeonatos del Mundo en México, Colorado Spring etc, han de pasar por una primera fase de ascenso brusco, en el que el organismo se enfrenta con una situación ciertamente estresante que intentaremos valorar debidamente en el presente trabajo.

El ascenso o la permanencia en montaña tiene efectos diferentes sobre el organismo humano, según la altitud a la que cada persona tenga fijada su residencia. Es clásica la referencia de PASQUIS y LEFRANCOIS desde hace más de 50 años " los hombres nacidos y viviendo habitualmente en alta altitud no presentan limitacion de sus actividades físicas e intelectuales, siendo frecuente verles jugar al futbol despues de haber desarrollado una jornada de trabajo de 12 hcras en las minas. Por contra, los venidos de la llanura, a pesar de la aclimatación, presentan una limitación en sus posibilidades" (citado por SCHERER, 1982).

CARACTERISTICAS FISICO-AMBIENTALES DE LA ALTITUD

LA PRESION ATMOSFERICA

En el siglo XIX, Paul BERT (1878) reconoció que los efectos perjudiciales de las grandes alturas se debian a la disminución de la presión parcial de oxigeno, inducida por una presión barométrica reducida.

La composición química de la atmósfera es prácticamente uniforme hasta una altura de más de 20.000 m. Sin embargo la presión y densidad atmosféricas son mayores en las capas más cercanas a la corteza terrestre y disminuyen en forma exponencial con la altura. TABLA I.

En la tabla I podemos ver la presión barométrica correspondiente a diversas alturas, y su correspondencia con los valores de presión de oxigeno del aire inspirado. Si continuasemos ascendiendo, a una altura de 19.000 m, en que la presión barometrica es de 47 mm de Hg en la tráquea sólo habría moléculas de agua.

Existe una clasificación que podríamos denominar "biológica" de la altitud, que obedece a los efectos resentidos por el organismo expuesto a diferentes estratos. Los limites no son del todo precisos, pues intervienen tambien otros factores, tales como: temperatura ambiente, latitud, susceptibilidad individual, ascensiones previas,etc.

VALORES DE LOS DIFERENTES PARAMETROS ATMOSFERICOS EN FUNCION DE LA ALTITUD

Altitud (metros)	Altitud (pies)	Presión atmosf. (mm Hg)	p O_2 aire ambiental (mm Hg)	p O_2 aire ambiental (% pr atm.)	Temperatura (C°)
0	0	760,0	159,2	20,95	15
1.000	3.281	674,1	141,2	18,6	8,5
2.000	6.562	596,3	124,9	16,4	2,0
3.000	9.842	526,0	110,2	14,5	- 4,5
3.500	11.483	493,4	103,4	13,6	- 7,7
4.000	13.123	462,5	96,9	12,7	- 11
4.400	14.436	438,9	91,9	12,1	- 13,6
5.000	16.404	405,4	84,9	11,2	- 17,5
6.000	19.685	354,2	74,2	9,76	- 24
7.000	22.966	308,3	64,6	8,50	- 30,5
8.000	26.247	267,4	56,0	7,37	- 36,9
9.000	29.528	231,0	48,4	6,37	- 43,4

Extraído del standard de la Organización de la Aviación Civil Internacional (Montreal, Canadá).

PRESION BAROMETRICA

n	Pies	Presión mm Hg	PO_2 aire traqueal	n	Pies	Presión mm Hg	PO_2 aire traqueal
0	0	760	149	5.500	18.050	369	79
500	1.640	716	140	6.000	19.690	354	64
1.000	3.280	674	131	6.500	21.330	330	59
1.500	4.920	634	123	7.000	22.970	308	55
2.000	6.560	596	115	7.500	24.610	287	50
2.500	8.200	560	107	8.000	26.500	267	46
3.000	9.840	526	100	8.500	27.890	248	42
3.500	11.840	493	93	9.000	29.530	230	38
4.000	13.120	462	87	9.500	31.170	214	35
4.500	14.650	433	81	10.000	32.800	198	32
5.000	16.400	405	75	19.215	63.000	47	0

TABLA I

En la FIGURA 1 se encuentran representados los límites generalmente aceptados entre la baja, media, alta y muy alta altitud, guiada por criterios fundamentalmente biológicos, tal como hemos reseñado más arriba. La FIGURA 2 refleja la situación geográfica de nuestra experiencia en altitud.

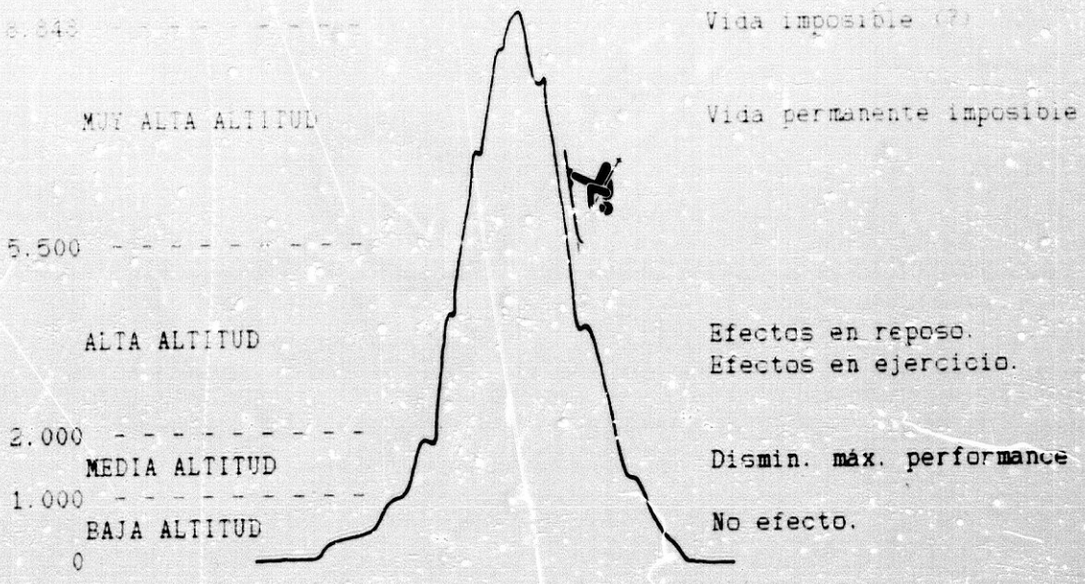
En baja altitud (hasta 1000 m) los individuos sanos no sufren ninguna modificación fisiológica, ni en reposo ni durante el ejercicio, que no se manifiesten ya al nivel del mar.

En mediana altitud (hasta 2000 m) se experimentan algunos efectos distintos ocasionados por el descenso del la ppO2, afectando a la performance maxima, con una disminución del Consumo máximo de oxígeno.

En alta altitud (hasta 5500 m) incluso en reposo se observan modificaciones del comportamiento fisiológico normal, siendo muy acentuados durante el ejercicio.

En muy alta altitud, el riesgo es evidente, como lo indican las primeras experiencias de ascensos en globo en el siglo pasado, y conducen incluso al coma si el ascenso es brusco.

Sin embargo, el hombre es capaz de vivir e incluso realizar actividad física intensa en estas altitudes gracias a los mecanismos de aclimatación que han sido ampliamente estudiados por muchos autores, sobre todo a raíz de los Juegos Olímpicos de 1968 en México (JOKL, 1973; SALTIN, 1967) incluso se ha conseguido ascender al Everest sin aporte adicional de oxígeno (R. Messner y P. Habeler, en 1978).



DEFINICION BIOLOGICA DE ALTITUD

Figura Nº 1

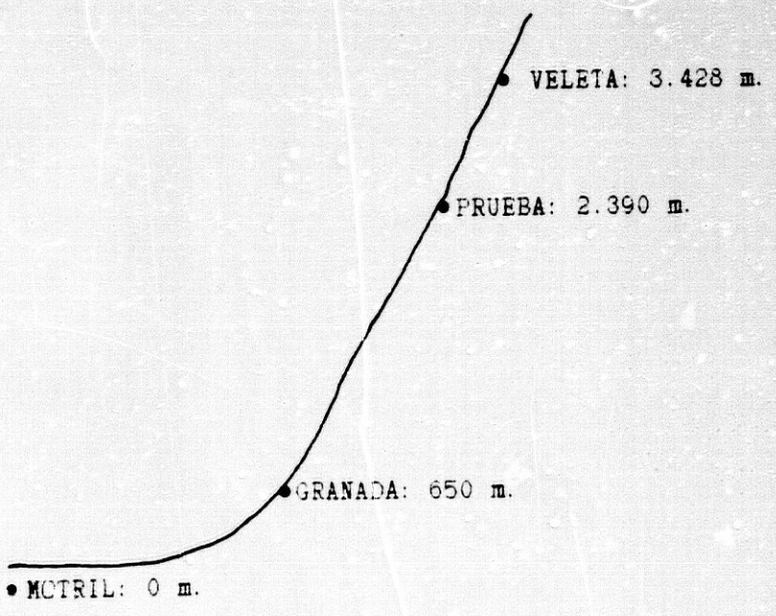


Figura Nº 2

* FACTORES CLIMATOLOGICOS. -

TEMPERATURA AMBIENTE

La temperatura con la altitud desciende aproximadamente 1 grado centigrado por cada 150 m de desnivel, siendo negativa generalmente por encima de los 3000 m, alcanzando - 37ºC a los 8000 m y -55ºC a los 11000 m.

La latitud influye de forma importante en la temperatura, así, en los trópicos, la variación estacional es escasa, mientras que en la alta montaña ocurre el fenómeno inverso.

HUMEDAD RELATIVA O GRADO HIGROMETRICO.

La cantidad de vapor de agua en la atmósfera disminuye con la altitud, pero de una forma mucho más rápida que la presión atmosférica. Así encontramos que a 2000 m disminuye en un 50 %, y a 4000 m, cuando la presión constituye 2/3 de la del nivel del mar, el vapor de agua tan solo representa 1/4 parte del existente a 760 mm de Hg.

Esto explica en parte el rápido incremento de las radiaciones con la altura, como veremos a continuación.

RADIACIONES

La exposición a la irradiación solar aumenta con la altitud:

- de 2 a 4 % cada 100 m hasta llegar a los 2000.

- de 1 % cada 100 m a partir de los 2000m

Esto es debido fundamentalmente a la mayor limpieza del aire (disminución de la polución y vapor de agua) y en ocasiones a la reflexión por la nieve, que puede determinar un aumento del 75 al 90% en su presencia.

La radiación Infraroja sigue el aumento general de la radiación visible, (0.7 a 3 π).

La radiación Ultravioleta aumenta considerablemente en altitud por las mismas razones, absorción menos importante y reflexión. Este aumento difiere según la longitud de onda de la UV considerada, siendo más importante para las UVB.

Existen tambien otros parámetros atmosféricos que influyen sobre el funcionamiento del organismo en mayor o menor medida, tales como la electricidad atmosférica (caracterizada por la medida del campo electrico atmosférico, de la conductibilidad y de la ionización) la polución atmosférica, ó aunque de forma muy débil, las precipitaciones y condensaciones y las perturbaciones atmosféricas.

CONSECUENCIAS DEL ASCENSO Y PERMANENCIA EN ALTA ALTITUD

SOBRE EL ORGANISMO HUMANO

ANTECEDENTES HISTORICOS . -

Los problemas que la altura planteaba al hombre, desde el punto de vista deportivo, eran practicamente patrimonio de la aviación y del montañismo. Tenía que llegar la designación de la ciudad de México como sede para unos juegos olímpicos para que la inquietud y el interés por el efecto que la altura de 2.240 m del futuro estadio olímpico pudiera tener en los deportistas, obligasen a los responsables a poner en marcha estudios sobre el rendimiento de sus atletas en esos niveles.

El estudio científico y experimental de las reacciones del organismo humano a la altura se remonta solamente a finales del siglo pasado. Pero el conocimiento de las diversas molestias data de mas de 350 años (op. cit. CASTELLO, 1972).

BLAS PASCAL (1623-1662) utilizando un barómetro, recién inventado por TORRICELLI, sube a la torre de la iglesia de Saint Jaques de la Baucherie de París, demostrando que la presion barometrica va decreciendo al irse elevando sobre el nivel del mar.

La primera reseña conocida sobre la acción de la altitud y sus consecuencias patológicas, el "mal de montaña", es debida al jesuita P. Jose Acosta, que estuvo como segundo provincial en Peru. A su regreso a España, en 1588, fué nombrado rector del

colegio de su orden en Salamanca y escribió su obra, publicada en 1590, titulada "La historia natural y moral de las Indias" en la cual aparece su relato sobre el mal de montaña.

En 1736, BOUGER y LA CONDAMINE viven durante 7 años por encima de los 3.000 metros en America Meridional y observan diversas modificaciones en el funcionamiento del organismo.
En 1802, HUMBOLT y BOUPLAND llegan a Quito para intentar la ascensión del Pichincha (4800 m), sufriendo tales molestias que incluso llegan a la lipotimia. Intentan luego alcanzar la cima del Chimborazo (6530 m), sin poder conseguirlo. HUMBOLT describe hemorragias labiales y gingivales en todos los miembros de la expedición.

En Europa, tras la ascensión de BALMAT y PACCARD al Mont-Blanc, en Agosto de 1786, DE SAUSSURE consigue el 8 de Agosto de 1787 la primera ascensión científica.

En Asia central, la exploración del Himalaya permite obtener datos sobre la influencia de la altitud sobre el organismo.
JACQUEMONT en 1830 llega a más de 5000 m a lomos de caballo, no experimentando practicamente molestias.

Los hermanos SCHLAGINWEIT, en 1855, dan una precisa descripción del "mal de montaña", insistiendo sobre el abatimiento moral y la anestesia de la voluntad, por encima de los 5000 metros, observando estos detalles en el glaciar de Ibi-Gamin, en el Tibet.

En 1877, ALEJANDRO Y JAIME GERARD ascienden a más de 6.000 m describiendo un sinnúmero de molestias que experimentaron - incluían cefaleas, somnolencia, taquipnea, etc.

Las ascensiones en globo tambien facilitaron datos de interés. Así CHARLES, en 1783; ROBERTSON en 1803, BIOT y GAY-LUSSAC, en 1804 pasaron de 4000 m ; posteriormente sucedio la trágica - ascensión del Zhenit, que alcanzó 9.000 metros, tripulado por- TISSANDIER, CROCE_SPINELLI y SIVEL, de la que solamente el primero logró sobrevivir.

JOURDANET llega a México durante la intervención francesa, siendo el iniciador del estudio, durante los años 1860-1870, del "mal de montaña crónico". En 1876, ya en Europa, publica su libro " L'enoxemia barometrique des altitudes ", defendiendo la teoría de que los trastornos de la altura son debidos a la disminución del oxígeno.

El profesor MENESSES, comentando este libro, escribe que está plagado de inexactitudes, siendo interesante tan solo porque fué dicho autor el culpable del "prejuicio de altitud" que se atribuye a México.

CHAVEAU estudia siguiendo un plan rigurosamente científico, las primeras curvas de pulso y respiración en el Mont-Blanc, en1866.
LORTET y MARCET, un año después y en la misma cima, señalan una disminución de la amplitud respiratoria.

Paul BERT, a finales del siglo XIX, basándose en los trabajos de PASCAL y en la teoría de JOURDANET, realiza un profundo estudio experimental que publica en 1878 en su libro "La pression barométrique", demostrando la realidad de la teoría de JOURDANET.

BERT sospechaba ya modificaciones hemáticas, pero el primero que en el mundo habló de hiperglobulia fué VIAULT, que estudió el problema en los andes peruanos a 4500 metros, estableciendo los siguientes puntos:

1 - La sangre de los animales y de los hombres que viven en altitud es mucho más rica que la de los que viven a nivel del mar.

2 - Los animales del llano, SUBITAMENTE trasladados a grandes alturas, no tardan en tener en su sangre un considerable numero de globulos rojos jóvenes que no poseían antes de llegar a la altura.

El profesor MOSSO de Turín, establece en 1893 un laboratorio en Punta Grifetti, a 4500 metros, obteniendo resultados que contribuyen al estudio de los trastornos ocasionados por la altura, rechazando la hipótesis de la hipocapnia como causa primordial de dicho mal, aunque reconociendo su papel colaborador en su aparición.

Surgen luego numerosos estudios realizados por diversos autores, tambien en el monte Rosa, como los de A. LOEWY, J. LOEWY y ZUNTZ en 1896, y WENDT en 1901 . Todos ellos facilitan datos sobre intercambio gaseoso en la altura, nutrición general, recambio energético, volumen de sangre y otros.

Ya en nuestro siglo el interés de los fisiólogos por la altitud adquiere un mayor empuje al disponer de cómodas instalaciones en las grandes alturas. Asi SCHNEIDER y cols (1907 - 1911) se instalan en el laboratorio de Picke Peach, a 4.312 m, en el Colorado, y en 1912 junto con HALDAN, HENDERSON y FITZGERALD,

trabajan en la cima del pico Tenerife a 3.400 m, demostrando - el aumento total de hemoglobina y la total responsabilidad de- la disminución de la tensión parcial de oxigeno en la producción del mal de montaña.

Un antecedente curioso para nuestro trabajo fué una experiencia previa de principios de siglo, en que se solicita al - gobierno suizo el permiso para construir un ferrocarril de montaña que, desde Kleine Schedech, llegase a la Jungfrau, a 4100 m. Antes de conceder la autorización, el gobierno suizo encarga a KRONECKER un estudio de las consecuencias que el traslado- pasivo de personas a la altura citada podia ocasionar.

KRONECKER busca una altura similar a la que sea factible llegar con grandes cargas; el Breithorn, de 4.100 m reúne las condiciones. Asi pues, desde Zermat organiza una caravana que primero a lomos de mulas y despues en sillas especiales atadas al dorso de porteadores, consigue trasladar a los sujetos de experimentación practicamente en las mismas condiciones de pasividad que se obtendrían en el futuro ferrocarril.
Los resultados mostraron que ninguno de los sujetos en experimentación sufrió molestias, cosa que no sucedió con los porteadores. El proyecto fue aprobado finalmente.

BARCROFF, en 1922, instala un complejo laboratorio en un vagón de los ferrocarriles peruanos, que desde Lima llega hasta casi 5.000 metros, demostrando el aumento de hemoglobina y la posibilidad de que se cargue de oxígeno a una presión más baja que a nivel del mar.

Aparecen tambien por aquellos años los primeros trabajos de C. MONJE y sus colaboradores del instituto de Biología Andina, que

en Lima y en Morococha, a 4.500 m, estudiaron y se sigue estudiando aun, los problemas de la aclimatacion y su fisiopatología.

Las recientes expediciones al Himalaya han contado ya con la colaboración de fisiólogos. SOMERWELL y GREENE obtienen en uno de los intentos al Everest muestras de aire alveolar (1924, tercera expedición inglesa).

GROLLMAN y cols. confirman el aumento del débito cardiaco en altura, señalado ya en 1935 por los participantes en la expedición a los Andes chilenos: DILL y cols., que demostraron definitivamente que la afinidad de la Hb por el oxígeno no se modifica, y que el consumo de oxígeno, para un trabajo dado , es el mismo en el llano que en la alta montaña.

Más recientemente, los alemanes HARTMANN, HEPP, BECKER y cols. ponen en evidencia la eficacia de la adaptación a la altura, en el Himalaya, Monte Rosa y en la Jungsfraujoch.

Los Mexicanos J.J. IZQUIERDO y J. MENESES, en 1946 y 1950, insisten sobre el papel de la aclimatación y de la adaptación. MENESES publica un estudió importantísimo en 1951, resúmen de 30 años de trabajo en ésta área, que es pilar fundamental en los trabajos sobre aclimatación.

En 1954 publica WYSS-DUNANT un detallado estudio sobre el shock de aclimatación y las curvas de pulso, que permiten una orientación sobre el posible rendimiento del individuo en la altura.

Estudios recientes, como los de SCHOENE (1984), en el que 9 miembros del " American Medical Research Expedition to Everest" estudian la HVR (hypoxia ventilatory reponse) demostrando su no variación tras la aclimatación, así como otros resultados que seran expuestos más adelante.

Desgraciadamente en España se carece prácticamente de literatura sobre estos temas; cabe destacar únicamente el estudio de los doctores BATTESTINI y VANRELL sobre el "mal de montaña" , realizado en el pirineo en 1962. (op. cit. CASTELLO, 1976).

ADAPTACION FISIOLOGICA AL EJERCICIO FISICO .-

ADAPTACION METABOLICA .

A la cantidad de Oxigeno que utilizan los músculos durante la actividad se la llama VO2, o consumo de oxigeno, el cual se va incrementando conforme aumenta la intensidad del ejercicio físico, estabilizándose para cada intensidad de carga en un tiempo de 2 a 6 minutos, según nos aproximemos a la "potencia máxima aeróbica", que es la potencia mínima de ejercicio que permite obtener el consumo máximo de oxígeno. (FIGURA 3)

CONSUMO MAXIMO DE OXIGENO .-

Es la cantidad máxima de oxigeno que puede ser extraída (ventilación, respiración), transportada (sistema cardiovascular y eritrocitario) y consumida (tejidos) en la unidad de tiempo.

Se trata de un gasto, o sea volumen por unidad de tiempo, o potencia. Se expresa en litros/min, o con mayor precisión, de cara a conocer las cualidades de un sujeto, en ml/Kg/min.

Este consumo máximo de O2 ha sido durante mucho tiempo un valor antropométrico fiable para proceder a la clasificación de deportistas, para predecir sus performances o para contro

CAPACIDAD DE TRABAJO FISICO

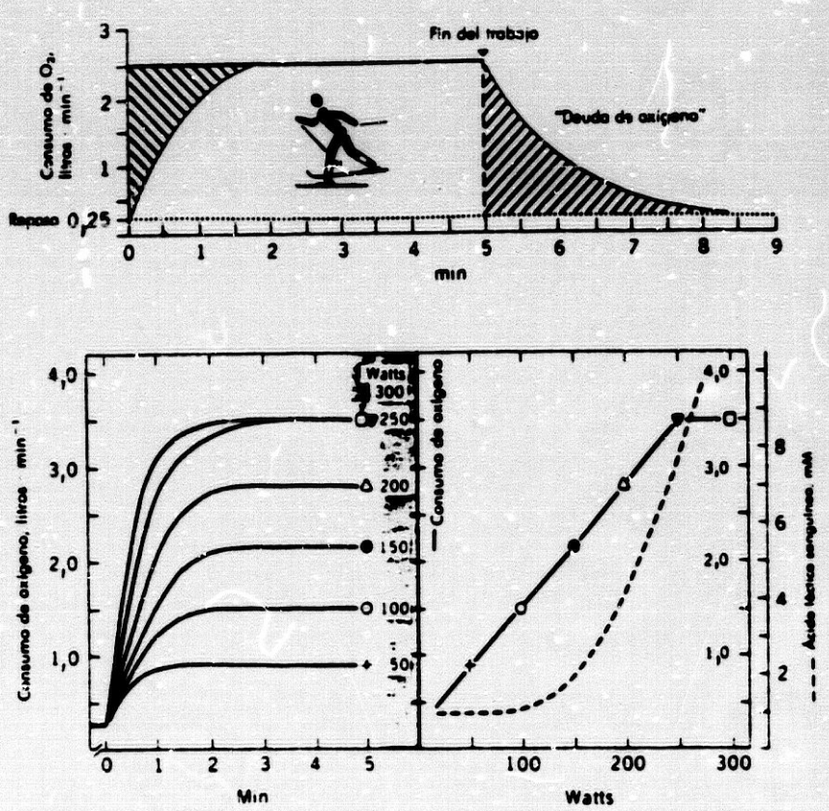


Figura N° 3 Tomado de ASTRAND Y RODAHL

lar su entrenamiento, no habiendo perdido su validez, pero habiendo sido si no superado, sí complementado por otros valores, tales como el "Umbral anaeróbico", que es el momento a partir del cual la cantidad de ácido láctico comienza a acumularse en la sangre, siendo mayor su producción que la capacidad del organismo para neutralizarlo, consumirlo o eliminarlo.

Valor del consumo de oxígeno.-

En el hombre de vida sedentaria las mediciones realizadas arrojan el resultado de 2.5 a 3 l/min, que equivalen a 30 a 40 ml/kg/min, es decir de 200 a 240 w de potencia mecánica.

En los deportistas de élite, estos valores pueden sobrepasar los 6 l, más de 80 ml/Kg/min, es decir, unas 20 veces el gasto metabólico de reposo, que es de 3,5 ml/Kg/min.

Las diferencias tan grandes de unas personas a otras vienen condicionadas por el factor genético, responsable del desarrollo óptimo o mínimo de los organos que condicionan el transporte de O2, como el tamaño del ventrículo izquierdo, tipo de fibras etc.

UMBRAL ANAEROBICO.-

Se define al Umbral Anaerobico (U.A.; A.T.; S.U.), según el concepto adoptado por WASSERMAN y cols (1973) como la intensidad de ejercicio o de consumo de oxígeno a la que una persona puede trabajar por tiempo prolongado, sin acidificación del medio.

Desde el año 1923 se sospecho que había un elemento metametabolico que condicionaba un cambio en las reacciones del organismo. (HILL et als. 1964). Más tarde (WASSERMAN, KINDERMAN Y PENDERGOST, 1979; RUSKO Y SKINNER, 1980; DANNIS Y WHIP, 1981; JONES Y EHRSAN, 1982) se pudo comprobar que éste producto era el ácido láctico, obtenido a partir de la glucolisis anaeróbica en dos fases distintas de la actividad física, bien al principio, en la fase A.L.☆, o bien una vez superada la P.M.A.☆ (op. cit. RODRIGUEZ, 1985).

Los niveles normales de ácido láctico en sangre son de 1.1 mM/l y conforme se incrementan las cargas impuestas a un sujeto, estos valores aumentan, permaneciendo estables para cada carga de trabajo, mientras esta no lleve a dicha concentración a unos valores de 4 mM/l punto a partir del cual la concentracion se dispara por efecto de la acumulación.
(FIGURA 4).

Este punto coincide con una determinada frecuencia cardiaca y con una determinada carga de trabajo, que por ser independiente para cada persona se le ha dado en llamar I.A.T. (individual anaerobic threshold), o bien O.B.L.A (onset of blood lactat acumulation).

☆ A.L.: Anaeróbica láctica
☆ P.M.A.: Potencia máxima aeróbica

MADER

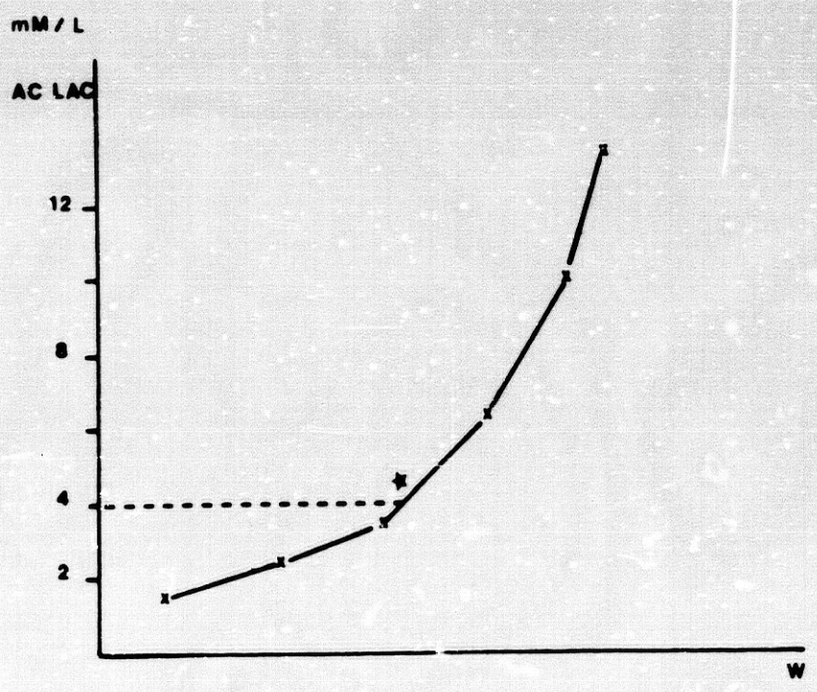


Figura N° 4

Esta acumulacion ocasiona dos respuestas organicas de interés, una sobre la frecuencia ventilatoria, ocasionando un punto de ruptura ventilatorio (FIGURA 5), que se corresponde con el IAT, y dos puntos de ruptura en la relación carga/frecuencia cardiaca, uno para el valor de 4 mM, que sucede entre los 150 y 190 pulsaciones, en función del grado de entrenamiento, más alto cuanto más capacidad aeróbica, y otro previo, entre las 80 y 130 pulsaciones, que presumiblemente se corresponde con el llamado umbral aeróbico, valor que ha sido situado en 2 mM de lactato (FIGURA 5)

En función de los valores de lactato segun la carga impuesta, se ha establecido una tabla (FIGURA 6) que sirve de patrón o guía a los entrenadores, para saber qué tipo de fuente energética solicitar, y planificar los entrenamientos con mayor precisión.

Algunos autores, como NILO HERNANDEZ (1983) han clasificado las actividades deportivas en función del sustrato metabólico utilizado (FIGURA 7), y existen clasificaciones de las diferentes modalidades deportivas, en las que se indican la predomimnancia de uno u otro proceso.

Según hemos podido observar, todos los procesos energéticos se van poniendo en marcha según un órden determinado, atravesando todas las fases diferentes de obtención de energía. Esto lo podemos resumir de forma gráfica en la FIGURA 8 donde vemos como los procesos anaeróbicos van dejando lugar a los aeróbicos, y cómo a los dos minutos la práctica totalidad de la energía se obtiene por mecanismos aeróbicos.

CONCONI

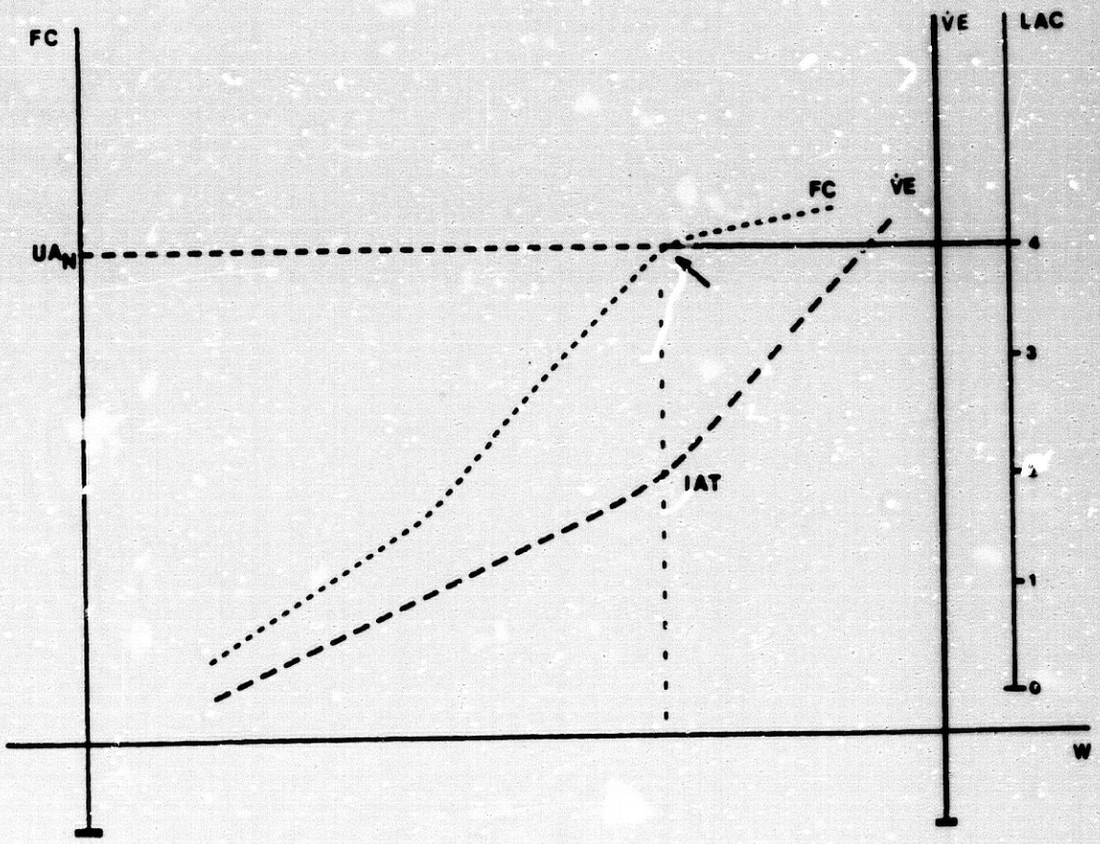


Figura N° 5

MODELO DE INTENSIDADES DE ENTRENAMIENTO EN FUNCION DEL UMBRAL ANAEROBICO Y LOS DIFERENTES NIVELES DE ACIDO LACTICO

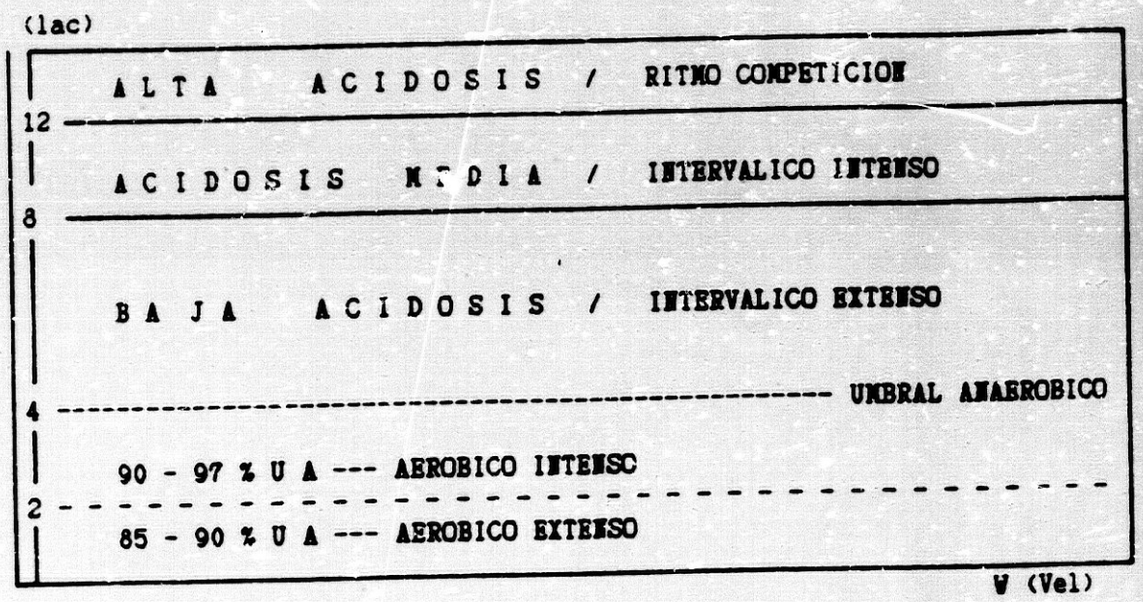


FIGURA Nº 6

CLASIFICACION DE ACTIVIDADES DEPORTIVAS

(Venerando y Dalmonte)

SEIS TIPOS DE EVALUACION:

- Anaeróbico puro
- Anaeróbico - aeróbico
- Aeróbico - anaeróbico
- Aeróbico puro
- Potencia
- Destreza

Figura Nº 7

Procesos puestos en juego	Ejercicio máximo - Duración del trabajo							
	10"	1'	2'	4'	10'	20'	60'	120'
ANAEROBICO Porcentaje (%)	85	65	50	30	12	5	2	1
AEROBICO Porcentaje (%)	15	35	50	70	88	95	98	99

Figura Nº 8

Desde la perspectiva genetica e histologica, el que unos individuos sean capaces de obtener con preferencia uno u otro tipo de energia, viene condicionada por la proporción de los diferentes tipos de fibras que constituyen los músculos, la cual es posible determinar a través de biopsia muscular, y que nos ofrece unas caracteristicas que quedan resumidas en la TABLA 2 .

MASA MUSCULAR QUE PARTICIPA EN EL EJERCICIO.-

La solicitación de transporte de Oxigeno irá en función del volumen y la cantidad de los musculos activos. Además el trabajo isométrico dificulta la circulación, mientras que el isotónico la favorece al actuar como bomba durante la contracción intermitente (corazón periférico), se deduce que se puede obtener un mayor consumo de oxigeno durante un ejercicio dinámico, tal como puede ser el pedaleo en bicicleta.

El consumo de oxígeno, para fines prácticos, tiene el mismo valor si se obtiene a partir de pruebas en tapiz rodante o en cicloergómetro , (ASTRAND Y RODHAL, 1985) siempre que los esfuerzos solicitados no sean máximos, tal como desarrollamos en el protocolo empleado por nosotros que detallamos más adelante.

En los trabajos máximos, en el tapiz rodante se dan valores entre un 5 y un 10 % más elevados.

El organismo puede tolerar un periodo de trabajo más largo, cuando la masa muscular solicitada es mayor, por consiguiente el entrenamiento del sistema del transporte de oxigeno, y su consiguiente evaluación, será más eficiente cuanto mayor sea la masa muscular que interviene en el ejercicio.

	Tipo 1 ROJAS SLOW	Tipo 2a BLANCA FAST (F_1)	Tipo 2b BLANCA FAST (F_2)
DIFERENCIAS GENERALES ESTRUCTURALES			
[GLUCOGENO]	Rico	Medio	Débil
[LIPIDOS]	Rico	Medio	Débil
[ATP-PC]	Alta	Media	Baja
MITOCONDRIAS	Rico	Medio	Débil
MIOGLOBINA	Rico	Medio	Débil
VASCULARIZACION	Rico	Rico	Débil
Ø MOTONEURONA	Mayor	Menor	Menor
DIFERENCIAS FUNCIONALES Y METABOLICAS			
MIOSIN ATPasa	Pobre	Rico	Rico
Act. GLICOLITICA	Débil	Medio	Fuerte
Act. OXIDATIVA	Débil	Media	Fuerte
t de RELAJACION	Lento	Mediano	Rápido
t de CONTRACCION	Lento	Mediano	Rápido
FATIGABILIDAD	Baja	Intermedia	Alta
[ISOENZ 1 LDH]	Alta	Media	Baja
[ISOENZ 6 LDH]	Baja	Media	Alta

tabla 2

TRABAJO INTERMITENTE

Durante las actividades industriales o recreativas rara vez se mantiene un trabajo muscular de intensidad constante por tiempo prolongado, por ello en pocas ocasiones se alcanza el estado estable. Es por ésto que las pruebas de laboratorio recurren a este tipo de trabajo durante la realización de sus test, al permitir simular los requerimientos planteados al cuerpo en muchos acontecimientos deportivos.

Desde un punto de vista práctico, resulta pues importante estudiar el efecto del trabajo intermitente, que refleja mejor el tipo de actividades musculares en la industria y en la mayoría de los ejercicios ordinarios de la vida deportiva.

El trabajo intermitente ha sido estudiado con diferentes intenciones por ASTRAND (1985) dando como resultado que para trabajos de máxima intensidad, son preferibles trabajos de corta duración con pausas cortas, y para baja intensidad, larga duración con pausas cortas tambien. (FIGURA 9).

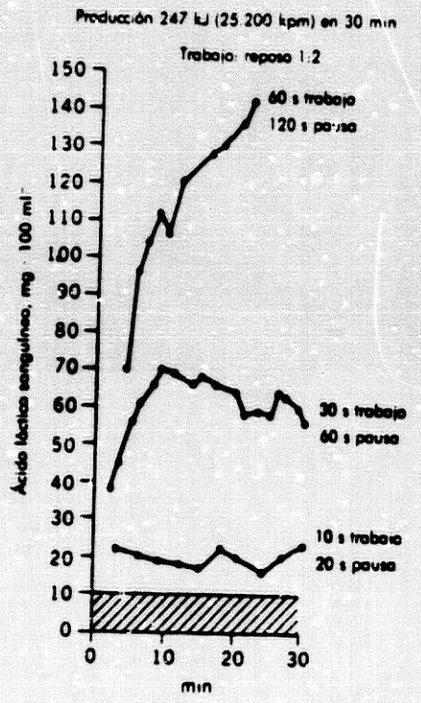


FIG. 9 Tomado de ASTRAND Y RODAHL

ADAPTACION CARDIORESPIRATORIA DEL ORGANISMO

AL TRABAJO MUSCULAR.-

PAPEL GENERAL DE LAS FUNCIONES RESPIRATORIA Y CARDIACA.

RESPIRACION EN REPOSO:

Renovación del aire alveolar (VENTILACION).-

Los movimientos respiratorios son el resultado de la acción sinérgica de los músculos diafragma e intercostales externos, y los abdominales e intercostales internos, asegurando la renovación del aire contenido en los pulmones.

Fracción de oxígeno utilizado.-

El aire ambiental tiene aproximadamente un 21 % de O2, mientras que el aire espirado posee alrededor de un 16 %. Por tanto decimos que la Fracción de Oxigeno utilizado (Fu O_2) es igual a la diferencia entre la concentración de O_2 inspirado (F_iO_2) y O_2 espirado (F_eO_2) .

$$Fu\ O2 = Fi\ O2 - Fe\ O2 .$$

Débito ventilatorio es el volumen de aire ventilado en la unidad de tiempo, y es igual al producto del aire movilizado en cada movimiento ventilatorio, por la frecuencia respiratoria.

$$\dot{V} = Vc \times Fr$$

En reposo estos valores son de 500 a 600 ml de volumen corriente, y de 10 a 12 la Fr, de donde obtenemos un débito de entre 5 y 8 litros/min.

Estos valores se incrementan poderosamente con el ejercicio fundamentalmente a expensas de la Fr y del volumen de reserva inspiratoria, llegandose a valores de hasta 150 l/min en deportistas entrenados, no siendo en ningún caso éste factor ventilatorio, en sujetos sanos, la causa del stop en una actividad deportiva.

Presiones parciales de los gases.-

Los cambios gaseosos a nivel de los pulmones dependen de leyes que hacen intervenir la presión parcial que el gas considerado ejerce en la sangre y en el aire. La p.p. de un gas en una mezcla se calcula a partir de la fracción del gas en la mezcla y de la presión atmosférica, la cual a su vez disminuye con la altitud tal como hemos visto, teniendo en cuenta la presión de vapor de agua, variable con la temperatura.

FIJACION Y TRANSPORTE DE OXIGENO.-

La superficie de contacto entre los alveolos y los capilares sanguíneos pulmonares es de unos 70 metros cuadrados.

La difusion del O2 y el CO2 a través de la membrana alveolo capilar resulta de las diferencias de presiones parciales, existiendo de una y otra parte, para estos gases.

Una vez realizada la difusión el oxígeno se fija a la hemoglobina contenida en los glóbulos rojos. La cantidad de O2 fijada en la unidad de tiempo depende de varios factores:

- contenido en sangre venosa que llega a los pulmones.
- pp de O2 en los capilares pulmonares y alveolos.
- nº de G.R. en la sangre
- contenido de éstos en hemoglobina
- gasto cardiaco, y especialmente débito pulmonar efectivo por unidad de volumen.

UTILIZACION PERIFERICA DEL OXIGENO.-

A nivel tisular, el oxígeno abandona la sangre y se incorpora a las células; la sangre venosa lo es por haber sufrido una desaturación de O2 a partir de los procesos oxidativos metabólicos celulares. La cantidad de oxígeno utilizado es igual al débito cardiaco multiplicado por la diferencia arteriovenosa.

Esta diferencia arterio-venosa es de aproximadamente un 5% que puede ser incrementada durante el ejercicio en función del tipo de fibras (TABLA II), grado de entrenamiento, intensidad del ejercicio, etc.

ADAPTACIONES RESPIRATORIAS DURANTE LA ACTIVIDAD FISICA

Aumento del débito ventilatorio.-

Durante el ejercicio aumenta en gran medida para permitir que la presión parcial de O2 alveolar permanezca constante a pesar de las demandas incrementadas por el organismo, que hace llegar a los alveólos una sangre empobrecida en O2, y lo hace en base a incrementar la frecuencia respiratoria y el volumen corriente.

Aumento de la Frecuencia Respiratoria.,-

Esta sucede desde el momento mismo del inicio del ejercicio, e incluso antes del mismo debido a mecanismos nerviosos que conectan centro respiratorio con la corteza.

Los tiempos espiratorios e inspiratorios son acortados, fundamentalmente el primero, tendiendo a igualarse durante el ejercicio, teniendo una proporción de 1.5 a 2 en reposo.

La FR está adaptada frecuentemente a la tarea realizada: natación, marcha, ciclismo, etc,. Para que la ventilación durante un trabajo máximo sea efectiva, ha de ganar más en profundidad que en frecuencia, pues el jadeo la vuelve ineficaz, movilizando el espacio muerto y consumiendo una gran cantidad de energía que resta al musculo que trabaja para el desplazamiento.

Aumento del volumen corriente (Vc).-

Se producen incrementos muy notables, que pueden llegar desde los valores normales de 600 ml hasta los 5 o 6 litros en atletas. Para CHRISTENSEN (1984) lo ideal es movilizar aproximadamente el 60% de la capacidad vital.

La eficacia del aumento del volumen corriente con el incremento de la potencia desarrollada, está limitada por el incremento del volumen del espacio muerto fisiológico, que puede pasar de 0.150 l. a 0.500 l. para potencias de 150 watios, como la utilizada por nosotros durante la aplicación de nuestro protocolo.

La importancia del control de la ventilación durante el ejercicio fue ya descrito hace años por ANTHONY (1930), acuñando un término que aún en la actualidad se emplea como método de valoración de la condición física y control del entrenamiento, además de en clínica, el "Equivalente Respiratorio de oxígeno", que es la relación entre la ventilación y el consumo de oxígeno, o la cantidad de aire que es necesario ventilar para fijar un mililitro de oxígeno (citado por GUYTON, 1985)

En el plano práctico, el estudio de la frecuencia cardíaca proporciona mayor utilidad; el estudio del débito cardiaco permite comprender la unión existente entre la frecuencia cardíaca, el volumen sistólico, la diferencia arterio-venosa y el consumo de oxígeno (FIGURA 10). Por último, la tensión arterial tiene interés en patología y como forma de valorar la aptitud al esfuerzo a partir de algunos test de esfuerzo simples.

FRECUENCIA CARDIACA Y TRABAJO MUSCULAR.

La frecuencia cardíaca es el factor principal de regulación del débito cardíaco, del cual depende el débito de consumo de oxígeno consumido por las células.

En la mayoría de los trabajos, el aumento de la FC está en relación lineal con el incremento de la carga de trabajo (FIGURA 10 bis), y éste a su vez origina un incremento a su vez lineal del consumo de oxígeno. Permite por consiguiente evaluar de forma indirecta el nivel energético del trabajo efectuado.

En realidad responde no solamente a la demanda energética, sino de forma más global a variaciones del ambiente, emociones o agresiones de diversa naturaleza. Así por ejemplo el mismo trabajo a mayor temperatura origina incrementos más elevados de FC.

INTERELACION FACTORES HEMODINAMICOS

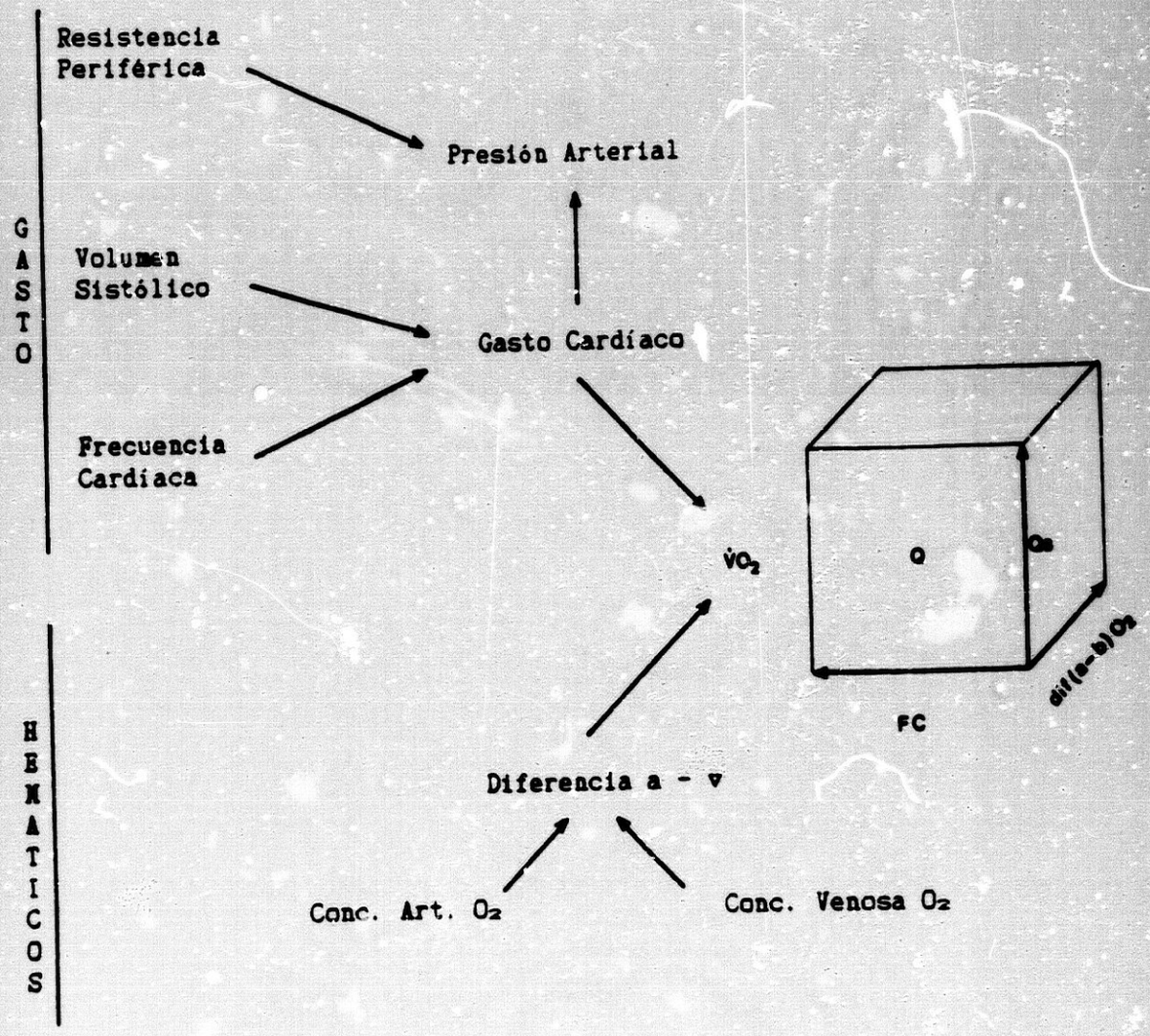


Figura Nº 10

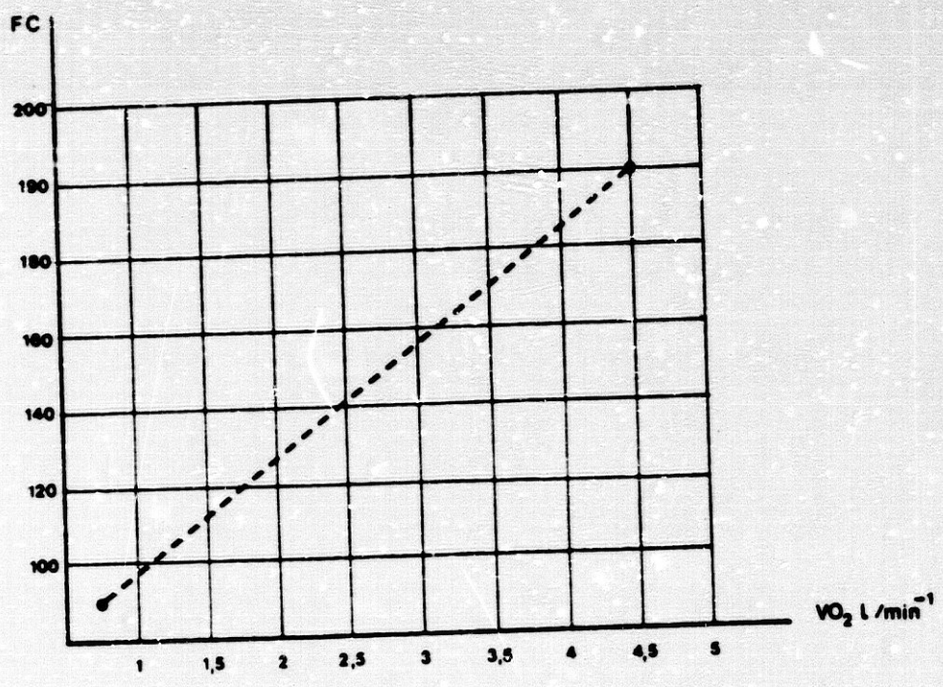


Figura N° 10 bis

Los factores emocionales pueden afectar la FC de reposo y la de trabajo, pero solamente durante ejercicios submaximos, cuando los niveles de exigencia se elevan, se repite la misma frecuencia ante diversas situaciones.

La frecuencia cardiaca es mayor para un mismo consumo de O2 cuando se realiza ejercicio con los brazos que con las piernas.

Los métodos de investigación basados en el estudio de la frecuencia cardiaca han tenido una gran aplicación y siguen siendo primordiales tanto en los exámenes de aptitud física como para la evaluación fisiológica del trabajo realizado en diferentes ambientes, tal como es el caso que nos ocupa del trabajo en altitud.

VALORES Y VARIACIONES DE LA FRECUENCIA CARDIACA.-

En reposo la frecuencia cardiaca está influida por diversos factores: postura, sexo, estatura, ambiente térmico, y fundamentalmente por el grado de entrenamiento, que condiciona un aumento del tamaño cardiaco, fundamentalmente a expensas del ventrículo izquierdo, y sobre todo en deportes de predominio aeróbico, que hace aumentar el volumen sistólico en reposo, a expensas de una reducción de la FC para obtener el mismo gasto cardiaco.

Los valores oscilan entre 65 y 75 en sedentarios, y entre 55 y 75 en deportistas entrenados (BROUSTET, 1984).

Durante un ejercicio moderado, la FC se eleva hasta un estado estable, que se mantendrá a lo largo del ejercicio.

Sin embargo, cuando la actividad es intensa, , se observa una elevación regular, debida a otros fenómenos como la termolisis, etc.

Hasta valores de carga de 160 w el incremento de la FC se considera lineal. Más allá, la relación se pierde, en relación con procesos metabólicos, tal como hemos señalado más arriba.

La cifra de 220 como FC máxima ha sido superada habitualmente en laboratorio, aunque se considera como cifra máxima teórica, siendo las FC máximas para cada edad 220-edad en años.

El funcionamiento del corazón a frecuencias muy elevadas es poco eficaz en razón de la disminución del tiempo de llenado ventricular. Para algunos autores (SJOSTRAND) la FC máxima no presenta mucho interés, centrandose sus investigaciones en la capacidad de trabajo a 170 pulsaciones, cifra a la que se puede llegar independientemente de factores emocionales (motivacion, capacidad de sufrimiento, etc).

RELACION ENTRE LA FRECUENCIA CARDIACA Y EL CONSUMO DE OXIGENO.-

Esta relación lineal como hemos visto mas arriba, ha sido plasmada a través de un cociente llamado pulso de Oxígeno, equivalente al consumo de oxígeno dividido por la frecuencia cardiaca, o cantidad de oxígeno fijada a nivel tisular en cada latido. Pero lo que realmente mide la eficiencia de un sistema orgánico es el "pulso de oxígeno diferencial", o el incremento de consumo de oxígeno para dos cargas dadas, dividido por el incremento de frecuencias cardiacas. Este se emplea frecuentemente para valorar los progresos obtenidos en los entrenamientos o simplemente la condicion fisica de un sujeto (NOCKER, 1982)

DEBITO CARDIACO Y PRESION ARTERIAL EN EL CURSO DEL TRABAJO.-

DEBITO CARDIACO.-

Los débitos pulmonar y tisular de oxígeno dependen del débito cardiaco, que aumenta con las necesidades del organismo, y éste a su vez depende de la potencia contractil del corazón que puede ser incrementada con el entrenamiento deportivo.

En el curso del trabajo se produce un incremento del gasto cardiaco a expensas de la frecuencia cardiaca, que puede triplicarse, y del volumen sistólico, que puede duplicarse, dando como consecuencia un posible incremento de hasta 6 veces el gasto basal. Sin embargo el consumo de oxígeno puede ser incrementado hasta 20 veces, a pesar de que la diferencia a-v solo aumenta hasta tres veces. Esto se logra gracias a que:

1) el flujo sanguineo se redistribuye durante el ejercicio de tal modo que los músculos esquéleticos pueden recibir hasta el 85% del volumen minuto cardiaco frente al 15% en reposo.

2) La curva de disociación de la Hb se desplaza hacia la derecha (efecto Bohr)

El volumen sistólico es afectado por:

a) el retorno venoso al corazón y

b) por la capacidad de distensión de los ventriculos.

Los factores decisivos que determinan el Vs son: la Fuerza de contracción en relación con las presiones en la Aorta y arterias pulmonares.

PRESION ARTERIAL EN EL CURSO DEL EJERCICIO.-

La presion arterial puede ser medida por métodos directos o indirectos. Esta ultima forma es la más adecuada para determinarla en sujetos en movimiento, mediante la aplicacion de un manguito neumatico que detecte bien el sonido mediante micrófono, o el investigador con estetoscopio, o bien por método oscilométrico.

Los valores en reposo oscilan entre 120 y 80 mm de Hg para las tensiones sistólica y diastólica, aunque se elevan ligeramente con la edad, sobre todo la sistólica.
La T.A. es la resultante del producto de la FC por la resistencia periférica que oponen los vasos al torrente sanguineo.

Durante la actividad fisica se produce un incremento lineal de la FC como vimos más arriba, y las PP varían en función del tipo de ejercicio y su intensidad. Otros valores de interes son la presion media y la presión diferencial

La presión sistólica sufre aumentos importantes que incluso comienzan a manifestarse antes del inicio de la actividad fisica, mientras que la tensión diastólica, sufre incrementos mucho más moderados.

En el curso de trabajos musculares con agotamiento máximo, o en sujetos sedentarios o con sobreentrenamiento, la pre-

sion diferencial se pinza como consecuencia de una caída de la presión sistólica, que se acompaña de una aceleración cardiaca. Esta respuesta, que traduce una pérdida de la capacidad de adaptación al ejercicio, ha sido descrita con el nombre de " Síndrome de Esfuerzo " (BARBANY, 1986).

Si durante una prueba de esfuerzo en la que se somete a un sujeto a intensidades crecientes de trabajo, no se produce una adaptación normalmente regular de la Tensión Arterial Sistólica, sufriendo elevaciones proporcionadas al esfuerzo desarrollado, se considera criterio de suspensión de la prueba de esfuerzo. (NOGUERAS, 1986)

RETORNO A LOS VALORES DE REPOSO.-

Despues de ejrcicios intensos existe un rápido descenso de la TAS, como consecuencia de la disminución del Volumen Minuto Cardiaco, de la vasodilatación y del descenso del Retorno Venoso, que puede llegar a situar los valores incluso por debajo de los del reposo, e incluso en ocasiones tan bajos que causan un síncope.

REGULACION DE LOS PROCESOS DE ADAPTACION CARDIOVASCULAR AL EJERCICIO.-

Regulacion de las Resistencia Periferica y del flujo sanguineo (BARBANY, 1986).-

El grado de contracción del musculo liso arteriolar y su significación reguladora dependen de:

a) La actividad contractil espontanea (Tono vasomotor autónomo)

b) Control metabólico del tono vasomotor (autoregulación local), disminución de la pO2, aumento del pCO2 y disminución del pH, ademas de la acumulacion de metabolitos y electrolitos (K, lactico, ADP...)

c) Control nervioso (regulación neurogenica)

d) Control humoral (regulacion hormonal)

MODIFICACIONES FISIOLOGICAS DEL ORGANISMO EN ALTITUD.-

DURANTE EL REPOSO.-

GENERALIDADES.

Salvo afección preexistente, sensibilidad particular o defecto de regulación, la vida en altitud es posible. El individuo se adapta a la hipoxia y desarrolla al cabo de algunas horas un nuevo estado de equilibrio fisiológico si proviene del nivel del mar.

Tambien es necesario considerar el caso de la exposición súbita a la altitud provocando reacciones de hipoxia aguda, o la exposición prolongada provocando reacciones de aclimatación a la Hipoxia crónica, y por último la residencia permanente en altitud. Nosotros vamos a ocuparnos principalmente del primer caso.

CONSUMO DE OXIGENO BASAL O DE REPOSO.-

La hipoxia de altitud no tiene influencia sobre la cantidad de oxígeno necesitado para las oxidaciones basales o de reposo, salvo durante los primeros 7 días despues del ascenso. Esta variación es debida a los fenómenos de adaptación inmediata, fundamentalmente al debito cardiaco.

VENTILACION PULMONAR.-

Entre los 2000 y 3000 m la ventilación pulmonar no se modifica durante la primera hora posterior al ascenso, pero sí a partir de entonces y durante unos días o semanas. A partir de los 3000 la hiperventilación se produce de forma brusca y duradera. Esta hiperventilación trae como consecuencia la aparición de una hipocapnia, para obtener una presión parcial de oxígeno alveolar similar a la que se encontraría en un ascenso a una altitud mucho más moderada.

A pesar de todo, la PaO2 se encuentra disminuída en relación al nivel del mar, por lo que en la hemoglobina se observa un defecto de saturación, más marcada cuando la altura es mayor. En ausencia de hiperventilación la hipoxemia sería muy marcada y ésta permite una atmósfera alveolar favorable a la oxigenación de la sangre.

DEBITO CARDIACO.-

El ascenso súbito ocasiona un aumento del débito cardiaco, que volverá a sus valores normales basales en el plazo de 2 a 4 semanas para alturas de 3000 metros y de 5 a 7 meses para alturas superiores a los 5000 metros.

PUGH y cols. (1964) realizaron estudios hemodinámicos con esfuerzos máximos en altura, viendo que el volumen minuto cardiaco para una misma carga de trabajo era igual que a nivel del mar tras una estancia prolongada.

Los dos componentes del debito cardiaco, frecuencia cardiaca y volumen sistólico sufren variaciones, la primera acelerándose durante los 18-20 días primeros, y la segunda sufre incrementos o decrementos según la velocidad de ascensión, pero la aclimatación trae consigo siempre una disminución de ese volumen.

CIRCULACION.-

La presión arterial parece poco afectada por la elevación brusca a alta altitud, aunque algunos autores refieren un aumento transitorio de la presión ARTERIAL sistólica (SCHERER, 1982).

Las resistencias periféricas están disminuidas: por vasodilatación o aumento de la capilarización en estancias prolongadas. Este último fenómeno despues de un mes de estancia, es fácilmente observable.

Durante una exposición aguda las resistencias periféricas, y la tensión arterial, parecen disminuídas, pero elevadas durante una exploración prolongada .

La baja del débito cardiaco en altitud durante el ejercicio podría ser debido según VOGEL (1974) al aumento de la postcarga que genera el retorno venoso, disminuyendo la presión de rellenado cardiaco (precarga) y por tanto el volumen de eyección (efecto STARLING).

Autores como GROVER (1979) han evocado el papel eventual de la hipoxia sobre el miocardio como la causante de la baja contractilidad y por consiguiente de la disminución del volumen de eyección.

CARACTERISTICAS HEMATICAS Y BIOQUIMICAS .

PARAMETROS SANGUINEOS

La disminución conocida de Pa de O_2 acarrea una disminución del contenido en oxígeno sanguíneo. Este descenso es compensado con una hemoconcentración, pero que tan solo se logra en la estancia prolongada o aclimatación, mientras que en el ascenso en reposo súbito no sucede, salvo que sea el ascenso acompañado de un ejercicio intenso.

A pesar de la poliglubulia y hemoconcentración, el contenido en oxigeno no llega a ser nunca el mismo que a nivel del mar.

La $PaCO_2$ disminuida traduce un aumento en la hiperventilación, que conlleva una alcalosis, la cual fuerza a su vez la eliminación de bicarbonatos por la orina para normalizar el pH sanguineo, que actúa fundamentalmente interfiriendo los procesos anaeróbicos lácticos.

La hipocapnia y la alcalosis desplazan la curva de saturación de la Hemoglobina de BARCROFT hacia la izda.

Al llegar a la alta altitud el contenido en oxihemoglobina de la sangre es superior al que habría en ausencia de regulación gracias al efecto de hiperventilación.

En el curso de la aclimatación, el aumento de contenido en hemoglobina y la hiperventilación se combinan para incrementar la fijación de oxígeno.

El volumen plasmático resulta reducido desde el mismo momento de la ascensión, y permanece así en el sujeto aclimatado.

Durante esta aclimatación, aparece un cierto grado de deshidratación y la hemoconcentración se acentúa debido a la poliglobulia, lo que conlleva un aumento de la viscosidad que resulta perjudicial durante el ejercicio intenso y prolongado.

MODIFICACIONES FISIOLOGICAS DURANTE

EL TRABAJO EN ALTA ALTITUD

GENERALIDADES.=

Tanto el paso de una situación de reposo a una de trabajo como la de estancia en superficie y ascenso a una altitud importante, conducen a una serie de modificaciones (respuestas y adaptaciones) del organismo, tendentes a mejorar la captación, transporte y liberación de oxigeno hacia los tejidos, para hacer frente a una demanda incrementada, o asegurar una liberación normal en los tejidos de los circuitos "protegidos" o de los tejidos que soportan el peso de la actividad física considerada.

Durante el trabajo en altitud todos los mecanismos adaptativos se conjugan, y el funcionamiento de los aparatos y sistemas es modificado pero de forma más intensa que durante el ejercicio a nivel del mar y que en reposo.

★DURANTE EL ASCENSO Y LA ACLIMATACION.=

CONSUMO DE OXIGENO DURANTE EL TRABAJO.=

Para una actividad de potencia constante, las variaciones del consumo de oxigeno en el tiempo siguen tres periodos clásicos: instauración, estado estable y recuperación.

Estos datos son validos tanto durante la ascension subita como durante la fase de aclimatacion. Sin embargo el periodo de instauracion es ligeramente mas largo que a nivel del mar y el periodo de recuperación está alargado, sobre todo durante los esfuerzos intensos próximos al máximo.

BANISTER (1978) refiere una bradicardia de esfuerzo durante el primer minuto de trabajo en altitud, una ganancia del poder anaerobico por el hecho de realizar el entrenamiento en altura y una disminucion de la capacidad de obtener energia por la via aeróbica.

HORSTMAN y ROBINSON (1979) refieren una disminución del $VO_{2\ max}$ del 19 % a 4.300 metros, y un aumento de la ventilación del 17 %, no encontrando cambios significativos en la FC máxima.

CONSUMO DE OXIGENO SEGUN LA POTENCIA DESARROLLADA.

Para una potencia determinada, y encontrándose el sujeto sometido a la prueba en estado estable, la cantidad de oxigeno utilizada no varia cualquiera que sea la altitud: la hipoxia no modifica el consumo de oxigeno submáximo a nivel tisular y los musculos emplean siempre una misma cantidad de oxigeno para un mismo trabajo. Se reproduce la relación lineal clásica potencia / consumo de oxigeno.

La potencia máxima de actividad fisica aeróbica desarrollada por un sujeto, es tributaria del consumo máximo de oxígeno, tal como sucede a nivel del mar.

PERFIL HORMONAL.-

Durante la exposición aguda a la altitud las catecolaminas, los corticosteroides, la hormona de crecimiento, la hormona antidiurética, las hormonas tiroideas y el glucagon aumentan de forma importante, por contra la insulina, la aldosterona y la renina disminuyen (SUTTON, 1983).

Durante la aclimatación todos estos valores se normalizan, permaneciendo solamente la insulinemia descendida.

HUMPELER, SKRABAL y BARTSCH describen en 1980 (op.cit. SCHERER, 1982) una experiencia de 10 sujetos entrenando 11 días a 2000 metros, en los que se producen los siguientes cambios:

- aumento de la TESTOSTERONA en las primeras 48 horas.
- " del CORTISOL, ALDOSTERONA y de la actividad ACTH.
- disminución de los niveles de FSH y LH.
- " de la actividad plasmática de la RENINA.
-

La movilización de los ácidos grasos del tejido adiposo, y del glucógeno hepático está controlada por diversos sistemas hormonales. La elevación mas marcada de la hormona de crecimiento y del cortisol, referidas por SUTTON, viene a apoyar la hipótesis de una movilización preferencial de los ácidos grasos de adipocitos . La disminución mas importante de la insulina y la progresiva aparición de una hiperglicemia durante el ejercicio, reflejan un aumento de la gloconeogénesis (SUTTON, 1983).

EXPOSICION AGUDA Y ACLIMATACIÓN.-

Durante el ascenso brusco, el consumo de oxigeno es tanto más reducido conforme la altitud se incrementa, en experiencias hechas hasta 4000 metros (SCHERER , 1982). La hipoxia provoca ésta limitación, que tiene un importante componente individual. La potencia máxima aerobia de trabajo es asímismo disminuida en las mismas proporciones.

Durante la aclimatación, los valores de consumo de oxigeno mejoran en el plazo de tres o cuatro semanas, pero nunca llegan a alcanzar los valores que tenían en superficie con el mismo entrenamiento. Las mejoras que experimentan los atletas en altitud son pues las referidas a los deportes de corta duración, o bien en aquellos de predominio aeróbico al regresar a la superficie de partida o al nivel del mar tras una temporada en altitud.

SOUSA-POZA, HEURICH y CIUTIIS (1975) refieren unos valores más bajos de producción de lactato en altitud, por lo que el predominio de energía aeróbica solicitada, favorecería, el entrenar en altitud, al desarrollo de la VO2 máx al volver a superficie.

NATIVOS EN ALTA ALTITUD.-

El consumo de oxígeno de los habitantes de altitud, nacidos en ella, es significativamente menor que el de los habitantes de nivel del mar, pero significativamente superior al de los individuos aclimatados siguiendo los mismos planes de trabajo o actividad física.

Cuando estos sujetos nativos son trasladados al nivel del mar, no llegan a alcanzar los niveles de consumo de oxigeno que los individuos aclimatados logran, motivo por el cual realizan stages de entrenamiento en altitud. La hipoxia crónica limita su potencia de trabajo aerobico.

VENTILACION PULMONAR

Se producen incrementos de ventilación pulmonar tanto más notables cuánto mayor es la altitud a la que se asciende, produciendose una hiperpnea que condiciona una hipocapnia, una alcalosis que fuerza la eliminación renal de bicarbonatos.

Se han comprobado los efectos respiratorios en un grupo de personas de 25 a 30 años viviendo durante veinte días en el pico DU MIDI, a 3613 m comprobando:

- un aumento medio de 4.4 % de la capacidad Vital
- " " " de 22.7 % del aire corriente
- " " " de 11.4 % del volumen espiratorio de reserva
- Una disminución media del 7.3 % del volumen inspiratorio de reserva.

Para todas las altitudes consideradas, la relación entre el incremento de la ventilación y las cargas relativas de trabajo, es idéntica.

Para un consumo de oxígeno determinado, el valor de la ventilación pulmonar es el mismo cualquiera que sea la altitud: el número de moleculas de oxígeno inhaladas por unidad de tiempo, es independiente de la altitud (WEST; WAGNER, 1980)

Actualmente los trabajos coinciden en afirmar la existencia de un aumento constante del débito respiratorio, sobre todo al darlo en condiciones BTPS (body temperature presure saturated), siendo menor en STPD , (standard temperatura presure dry)

DEBITO CARDIACO.-

Tal como sucede a nivel del mar, la elevación de la frecuencia cardiaca es proporcional a la potencia del ejercicio y al consumo de oxígeno (FIGURA 10 bis). Sin embargo durante el ascenso agudo y para potencias iguales, la frecuencia es tanto más elevada cuanto mayor es la ascensión y el débito cardiaco aumenta. La frecuencia y el débito cardiaco son constantes en sus valores máximos, independientemente de la altitud (SCHERER, 1982).

Para trabajos submáximos, la FC alcanzada puede ser de los mismos valores que la alcanzada en altitud cero. En trabajos máximos, la frecuencia cardiaca no alcanza los valores máximos, obtenidos a partir de la fórmula 220-edad, y la aplicación de oxígeno puro aumenta la FC máx pero nunca igua la la alcanzada a nivel del mar.

VARIACIONES DE LA FRECUENCIA CARDIACA.-

La mayoría de los autores parecen estar de acuerdo en que la frecuencia cardiaca máxima disminuye en altitud. DILL y ADAMS (1971) observan una reducción de la FC durante una permanencia de 17 días en alturas de 3000 metros.

Por el contrario, FAULKNER et al. (1967) no encuentran modificaciones de la FC max en altitud. Se describe una frecuencia cardiaca más baja al final del esfuerzo, una primera parte de recuperación cardiaca más rapida al final del esfuerzo, y una segunda parte más lenta, para una misma prueba realizada en alta altitud.

Es difícil la interpretación de este fenómeno y no parece haberse encontrado todavía respuesta satisfactoria, pero no debe olvidarse que es importante tomar esencialmente en consideración la segunda parte de la curva de recuperación cardiaca, que corresponde al pago de la deuda, láctica, y darse cuenta de que ésta se paga más lentamente que a nivel del mar, y que en el entrenamiento anaeróbico a nivel del mar es necesario alargar los tiempos de recuperación. Lo que se debería hacer es objetivar ese incremento de los tiempos para las diferentes cargas de trabajo.

MILLEDEGE, WARD y CLARKE (1983) describen una respuesta similar en aclimatados y no aclimatados tras ascenso a altitud, salvo en lo referente a una menor respuesta ventilatoria y mayor frecuencia cardiaca en no aclimatados.

★ <u>DURANTE EL EJERCICIO</u>

A igual potencia desarrollada, la frecuencia cardiaca es más elevada en altitud durante la realización de un ejercicio moderado, pero no varia o disminuye durante un ejercicio intenso o máximo (VOGEL, 1974)

TENSION ARTERIAL

Para cualquier tipo de ejrcicio, y de cualquier intensidad, incluso si se trata de ejrcicios que lleven al sujeto al agotamiento máximo, los valores de presión arterial sistólica y diastólica varían de la misma manera que al nivel del mar, tanto en exposición aguda como durante la fase de aclimatación.

La presión arterial (tanto sistólica, diastólica como media) y las resistencias periféricas durante el ejercicio, parecen disminuídas durante una exposición aguda, pero elevadas durante una exposición prolongada con relación a su valor a nivel del mar.

Para otros autores (RICHALET, 1984) las variaciones de la presión arterial sistémica disminuyen en primera instancia, aumentando posteriormente a medida que se prolonga la estancia en altitud.

Mientras que la secreción de catecolaminas aumenta, la atenuación de la respuesta cardiaca a la estimulación beta-adrenérgica en hipoxia crónica, no parece tener relación con un aumento de la actividad vagal, sino a una inactivación incrementada de las catecolaminas .

APPEL (1980) describe una elongación e incremento del diámetro vascular tras entrenamiento en altitud.

PARAMETROS SANGUINEOS. -

Se producen similares variaciones a las que ocasiona el ascenso en altitud en reposo, con los incrementos derivados de la actividad física.

HORSIMAN, WEISKOPF y JACKSON (1976) describen la aparicion de Policitemia muy importante en atletas entrenando 4 semanas a 4300 metros, en los que encuentran ademas una reducción del gasto cardiaco y disminución del consumo de oxigeno.

FAVLISKO y RUHLING (1979) describen en un grupo de 18 atletas entrenando a 1310 metros durante 6 semanas, incrementos de la fuerza y todos los elementos de la serie roja (GR, HTO, Hb).

HOYT, WOOD, HICKS y ASAKURA (1983) realizan estudios en nueve maratonianos, corriendo desde 1950 hasta 3400 metros, encontrando un significativo desplazamiento de la curva de disociación de la Hb hacia la derecha, consecuencia de una disminución marcada de la afinidad de los enlaces de la oxihemoglobina. Además hay un aumento de la p50, según sus conclusiones debido al aumento de la temperatura corporal central.

ACIDO LACTICO Y pH.-

El ácido láctico es liberado más precozmente que a nivel del mar, es decir, se producen tasas más elevadas para cargas iguales tanto máximas como submaximas, moderada por la alcalosis y acarrea una elevación menor del pH durante la exposición aguda por efecto de la hiperventilación, disminuyendo el poder tampón de la sangre durante la aclimatación.

El pH de reposo no parece sufrir ninguna modificación durante el reposo en altitud, ni tampoco al nivel del mar. Tampoco se ha observado ninguna modificación del pH despues de realizar esfuerzos intensos en la vuelta a nivel del mar con respecto a los indices iniciales, a pesar de las variaciones en la lactacidemia.

LACTACIDEMIA TRAS ESFUERZOS PROLONGADOS.-

Existe una disminución del índice de lactato máximo observado durante test de esfuerzo diversos realizados a nivel de la P.M.A., de una duración moderada .

Podría encontrarse la causa de tal variación en la disminución del bicarbonato plasmático y probablemente en la disminución de la liberación de lactato muscular hacia la sangre, unido a la viscosidad sanguinea elevada por la proporción de hemoglobina, durante la contracción muscular; se produciría entonces una alteración de la circulación de la sangre en el músculo, factor importante para la eliminación del lactato.

Por el contrario FOX y cols (1985), observan un aumento de la lactacidemia para los esfuerzos submáximos (40 al 80 % del $VO_{2\ max}$ a nivel del mar) y opinan que este proceso se debe a la mejora de la potencia anaeróbica.

SALTIN (1967) encontró unos índices de lactatos muy proximos enpruebas de media distancia en altitud y a nivel del mar (18.3 mM/l por 18.6 mM/l).

Se han encontrado valores netos incrementados de producción de lactato en altitud y persistencia de lactatos elevados al volver al nivel del mar (ASTRAND, 85).

Mientras que en pentatletas se observó una disminución de la producción de lactato, en los corredores de medio fondo se apreció un considerable aumento, y en un promedio de 19 sujetos, la producción se mantuvo igual en experiencias realizadas por HANDSCHUM, FOUILLOT y RIEU (1984).

YOUNG, EVANS y COSTILL (1983) estudian a un grupo de nativos de nivel del mar, tras ascenso a una altitud moderada, describiendo un ascenso menor del ácido láctico intra-

muscular en altitud, y una menor disminucion del pH ,por lo que deducen que las limitaciones del trabajo fisico en altitud no se deben a la acidificacion del medio ni por cambios en la actividad de las enzimas axidativas por ésta causa.

METABOLISMO HIDROELECTROLITICO

Las variaciones observadas de concentraciones plasmáticas y urinarias en electrolitos son dificiles de analizar, ya que ellas pueden ser influenciadas por la alimentación, el ejercicio o el quilibrio ácido-base.

Parece que la excreción urinaria de Na y K está disminuída en altitud, sobre todo ésta última, bien por efecto de la alcalosis, bien por la disminución de la secreción de aldosterona .

Los posibles factores responsables de las citadas modificaciones son:

- Anoxia celular, que acarrea trastornos en la bomba Na-K, con entrada de sodio y agua en la célula, debido al déficit de ATP y a la hipoxia.

- Deshidratación por exceso de pérdida de agua (débil grado higrométrico, hiperventilación, disminución de la sed, ingestión frecuente de alimentos concentrados en los alpinistas o montañeros).

- Perturbación de la función renal.

- Modificación del equilibrio ácido-base (alcalosis compensadora).

- Modificaciones de las secreciones hormonales, de difícil estudio por la cantidad de factores externos que influyen sobre los sujetos, trastornando las secreciones endocrinas (hipoxia, frío, ejercicio, stress) dando resultados contradictorios (SHARMA et al, 1978).

SECRECION DE HORMONA DE CRECIMIENTO Y HORMONAS TIROIDEAS EN RESPUESTA AL EJERCICIO EN ALTITUD.-

Todas ellas parecen estar aumentadas en exceso durante la estancia prolongada, pero no existen estudios realizados durante el ascenso súbito.

CATECOLAMINAS.-

Para algunos autores la secreción de catecolaminas es normal durante el ejercicio en altitud, mientras que para otros aumenta progresivamente.

SISTEMA RENINA-ANGIOTENSINA-ALDOSTERONA

Segun MILLEDEGE a pesar de un aumento de la actividad renina plamática, la aldosterona permanece normal o disminuída. La concentración de angiotensina II sería en principio disminuída, para ser posteriormente aumentada.

Esta evolución vendria determinada por una baja actividad inicial del enzima de conversión del endotelio pulmonar, y a una disminución de la sensibilidad de los receptores periféricos a la angiotensina II.

Según MAHER por el contrario la actividad renina plasmática disminuye desde el comienzo.

El aumento de la secreción de aldosterona al ejercicio por aumento de la actividad renina plasmática es más débil en altitud, según MILLEDEGE (1979)

JONES, HARTLEY y MAHER (1975) realizan un ascenso a 4.300 metros tomando muestras de sangre antes y despues del ejercicio a nivel del mar, tras un día de estancia y al undécimo día en altitud, trabajando en cicloergómetro durante 20 minutos con dos intensidades: al 40 y al 75 % de su consumo máximo de oxígeno, previamente determinado. Concluyen con la disminución del consumo de O2 en un 27 %.

Además, el día 1º, encuentran una DISMINUCION de la aldosterona, Renina, Angiotensina II en altitud post-ejercicio, permaneciendo el cortisol constante.

Según sus conclusiones finales tras 11 dias de trabajo, existe una alteración entre la angiotensina II y la aldosterona, perdiendo la dependencia que presentan a nivel del mar.

HORMONA ANTIDIURETICA

La secreción de ADH es normal o ligeramente aumentada en los sujetos normalmente adaptados (SCHERER, 1982).

Se elevaría notablemente en sujetos presentando signos de mala adaptación pero se desconoce si es una causa o una consecuencia. Según otros autores por el contrario, ella es independiente del estado clínico.

INSULINA Y GLUCAGON

El glucagón aparece ya incrementado en reposo en altitud, pero siempre tras estancias prolongadas, no existiendo datos en cuanto a ascenso súbito. Durante el ejercicio se producen todavía aumentos mayores

La Insulina presenta una disminución más importante que en el reposo y que a nivel del mar.

ADAPTACION METABOLICA AL EJERCICIO EN ALTA ALTITUD.-

Tal como hemos descrito previamente, la adaptación metabólica al ejercicio físico en altitud ha de estudiarse desde la doble perspectiva de la producción de energía aerobia y anaerobia:

MODIFICACIONES DEL COMPORTAMIENTO ANAEROBICO.-

Sobre las enzimas del sistema aláctico no existen estudios acerca de las modificaciones tras la exposición prolongada o súbita a la altitud.

ENZIMAS DE LA GLUCOLISIS LACTICA:

Se han señalado importantes modificaciones en el índice de aldolasa y de fosfo-glucosa-isomerasa sérica, que aumentan en un 64 y 179 % respectivamente, en una población de atletas bien entrenados en largas distancias, entrenando tres veces por semana de forma intensiva en cicloergómetro, con una permanencia de dos horas en una cámara de despresurización correspondiente a una altitud de tres mil metros y a lo largo de cuatro semanas.

Por el contrario, entrenando en condiciones normóxicas no se observó ninguna modificación. En ascensos bruscos no se refieren estudios a éste respecto.

SUBSTRATO ENERGETICO.-

La potencia máxima anaeróbica se obtiene en la misma forma a nivel del mar que en altitud lo mismo tras ascenso brusco que tras adaptación. No hay alteración de la degradación el ATP y de la fosfocreatina (PC) por la hipoxia aguda o crónica (PRAMPERO, 1982).

KNUTTEN y SALTIN, (1972) por el contrario, demostraron que para intensidades identicas, la disminucion de ATP y PC es mas importante en altitud para esfuerzos maximos. (op.cit. STEPHAN, 1985).

PATOLOGIA UNIDA A LA HIPOXIA DE ALTITUD

En la actualidad son muchas las personas que vuelven sus ojos hacia las altas regiones en busca de diversión, aventura o conquista de cotas himalayas o andinas. Asi, las estancias por encima de los 3000 metros son corrientes, y los picos de más de 5000 m están incluídos en la mayoría de las rutas de montaña.

Muchos de estos deportistas pagan cara su incursión en éstas cotas, al estar insuficientemente preparados e informados y suben en malas condiciones, pudiendo presentar el "mal de montaña", considerada como la prueba primera que ha de pasar todo montañero antes de iniciarse en la alta altitud.

El conjunto de los mecanismos que caracterizan las reacciones del organismo a la hipoxia de altitud determina un equilibrio que puede ser facilmente perturbado:

- mala adaptación por mecanismos insuficientes ante la hipoxia

- mecanismos demasiado intensos, con consecuencias hemodinámicas (poliglobulia).

CLASIFICACION DE LOS PROBLEMAS ENCONTRADOS EN ALTITUD

(RATHAT, C.; Inc. RICHALET, J.P., 1984)

Las reacciones del organismo a la altitud pueden ser clasificadas en tres grandes grupos: (ZINk, 1982)

1 - ADAPTACION NORMAL A LA ALTA ALTITUD : no existen signos clínicos, y no se hace necesaria ninguna terapéutica.

2 - MALA ADAPTACIONn: Se traduce por un Mal agudo de montañas, o bien por edemas localizados.

3 - COMPLICACIONES :

- lesiones locales, sin poner en peligro la vida : hemorragias retinianas.
- lesión localizada grave: congelaciones, accidentes. tromboembólicos (pone en riesgo la vida).
- edema agudo de pulmón y cerebral de alta altitud.

EL MAL AGUDO DE MONTAÑA.-

Se dice de él que muy pocos mueren, pero muchos llegan a desearlo al padecer ésta enfermedad, para describir lo penoso de dicho cuadro.

FRECUENCIA

HACKETT y cols. en 1976, en un estudio llevado a cabo en Pheriche, (4234 metros , Nepal), encuentra un 53 % de casos entre los turistas que llegan al campamento base en el Everest.

SIGNOS CLINICOS.-

La cefalea alcanza al 96 % de los afectados por el mal de montaña. Sobreviene al terminar el esfuerzo. Es a menudo pulsátil.

Además presenta, con menor incidencia: insomnio, somnolencia diurna, nauseas, anorexia, vértigos, agotamiento extremo y a veces palpitaciones. Hay que pensar en ella por encima de los 3000 metros.

HACKETT (1979) ha clasificado la gravedad a través de una escala:

- *cefaleas*
- *náuseas o anorexia*
- *insomnio*
- *vértigos ..... 1 punto.*

- *cefalea no cediendo con 600 mg de AAS*
- *vómitos ..... 2 puntos.*

- *fatiga anormal*
- *baja diuresis..... 3 puntos.*

De 1 a 3, ligero; entre 4 y 6, moderado; por encima de 6 MAM severo.

EDEMAS LOCALIZADOS.-

indican probablemente una perturbación de la secreción de hormonas de regulación del metabolismo hidroelectrolítico, y son verdaderos signos de alarma que indican prudencia, so pena de ver venir en adelante complicaciones que pueden ser mortales.

Afectan frecuentemente a la cara, manos y tobillos, son escasamente perceptibles en primera instancia y se traducen como una mala adaptación fisiológica a la alta altitud generalmente por no cumplir las normas básicas de la ascensión en montaña.

CIRCUNSTANCIAS Y FACTORES FAVORECEDORES DE SU APARICION.-

Sobreviene en altitudes a partir de 2500 - 3000 metros, y afecta por igual al hombre y a la mujer, aunque hay mayor incidencia durante el ciclo menstrual.
Los signos aparecen entre 6 y 12 horas despues de llegar a la altitud.

El principal factor favorecedor es la velocidad de ascensión. Otro factor es el tiempo transcurrido en altitud: los miles de turistas que suben todos los años a la aguja del Midi en teleférico (3.800 m) no sufren practicamente MAM permaneciendo escasas horas a esa altitud, mientras que los montañeros que pasan una noche en el refugio, la presentan con gran frecuencia.

FISIOPATOLOGIA.-

Los signos clinicos pueden ser interpretados como los de un edema cerebral.

HOUSTON Y DICKINSON describen en 1975, 12 casos de problemas graves debidos a la alta altitud en los cuales predominaban los signos neurológicos.

La hipoxia aumenta el debito cerebral sobretodo cuando la ventilación es normocápnica, traduciendo un aumento del débito y la presión en la microcirculación cerebral. Este edema es agravado por el esfuerzo físico.

El MAM es más frecuente y grave en aquellas personas que aumentan menos su ventilación ante la hipoxia .
El débito cerebral se normaliza hacia el 5º día como consecuencia del factor vasoconstrictor que constituye la hipocapnia establecida como consecuencia de la hiperventilación compensadora a la hipoxia .

La hipoxia cerebral haría aumentar la secreciópn de neurohormonas, llevando la ADH a producir un "secuestro" de agua y los edemas.
RICHALET (1984) ha demostrado recientemente como disminuye el volumen plasmático en 8 montañeros aclimatados, y como aumenta en sujetos presentando MAM.

PREVENCION. -

La mejor prevención consiste en una buena aclimatación, con un ascenso progresivo, de unos 300 m de desnivel/día entre 3000 y 5000 m controlando la buena aclimatación por producirse una progresiva pérdida de peso, y la ausencia total de signos y sintomas.

La acetazolamida (Diamox ®, 250 mg x 2) ha mostrado efectos muy beneficiosos en la prevención.

No obstante la práctica de ejercicio físico tras ascenso súbito a alta altitud puede desencadenar o favorecer la presentación del MAM sobre todo en sujetos de hábito sedentario, por lo que resulta altamente interesante conocer la respuesta y adaptación al ejercicio físico del organismo tras ascenso súbito a alta altitud en relación a lo cual apenas se dispone hoy en día de literatura.

En base a ello y a todo lo anteriormente expuesto se ha planteado el presente trabajo con los objetivos que a continuación se indican.

OBJETO. —

El objeto global del presente trabajo consiste en caracterizar de la manera más completa posible la adaptación fisiológica que se produce en el organismo humano ante una actividad física concreta realizada en altitud (2390 m) a la que se ha accedido de forma relativamente rápida, contraponiendo esa adaptación a la que se experimenta cuando la misma actividad se realiza a una altura en la que se vive habitualmente (650 m.)

Se pretende tambien estudiar si esa adaptación fisiológica se ve influenciada por el grado de entrenamiento previo o de actividad física habitual que realiza el sujeto, así como por sus características somáticas más relevantes.

Este objeto global se puede desglosar en una serie de **objetivos específicos** y consecuencias colaterales que se derivarán de la realización del presente trabajo, y que entre otros pueden ser:

1.- Aplicación y validación de un protocolo de trabajo intermitente y prolongado de intensidad creciente, estudiando la posible influencia que los períodos de recuperación puedan tener en el rendimiento deportivo. Se evaluará el Consumo Máximo de Oxígeno ($VO_{2\ max}$), el Umbral aeróbico y la Capacidad de Trabajo Físico a una frecuencia cardiaca determinada (PWC_{170}).

2.- Efecto de la práctica de actividad física en altitud sobre el rendimiento físico de un grupo de adultos sanos, así como las consecuencias que la altitud pueda tener sobre el proceso de recuperación.

3.- Adaptación fisiológica del sistema cardiovascular a la práctica de actividad física en altitud, en comparación con lo que ocurre en la altitud de residencia habitual. Se estudiará el perfil tensional, frecuencia cardiaca durante el ejercicio, así como las características electrocardiográficas en reposo y al finalizar el mismo.

4.- Estudio de los cambios hematológicos que se producen tras un ascenso relativamente rápido a un ambiente hipóxico así como las consecuencias que sobre esos parámetros tiene la realización de un ejercicio físico intenso.

5.- Asequibilidad de intermediarios metabólicos (substratos - energéticos) y su utilización o variación durante el ejercicio en altitud, en contraposición a lo que ocurre en superficie.
Se estudiaran también las principales hormonas que pueden influenciar esos procesos.

Entre los primeros se incluirán la glucemia , Triglicéridos y ácidos grasos libres y entre las hormonas se estudiarán: insulina, glucagón, HGH, somatomedina C y ACTH.

6.- Caracterización y composición somatica, funcional y bioquímica de dos grupos de sujetos adultos varones sanos, en función del hábito de practicar o no deporte regularmente.

7.- Estudio de las diferencias existentes entre el grupo de sujetos entrenados y el de sedentarios en cuanto al rendimiento deportivo, respuesta cardiovascular, cambios hemáticos y asequibilidad y regulación de sustratos energéticos, que se produce como consecuencia de la realización de ejercicio físico en alta altititud en contraposición a lo que ocurre en la altitud de residencia habitual.

MATERIAL Y METODOS

MATERIAL Y METODO

EXPERIMENTAL

El estudio de las repercusiones de la actividad física sobre el organismo, como consecuencia del entrenamiento en los estudios longitudinales, o bien el realizado de forma esporádica y súbita, pasa por reproducir de forma objetiva, en laboratorio, los esfuerzos a que se someten los individuos que queremos explorar.

En cardiología, la indicación de prueba de esfuerzo es muy precisa, debiéndose controlar un gran número de circunstancias posibles, que agravarían la posible lesión del paciente, con registro continuo electrocardiográfico, vigilando las depresiones o supradesniveles del segmento ST, control de la evolución de la tensión arterial y otros.

En neumología, rehabilitación, ó medicina nuclear se emplean protocolos de cargas de trabajo en relación con la finalidad en sí de la prueba, mientras que en Medicina del Deporte o en Fisiología del Ejercicio, cuando se explora a un sujeto, se hace para estudiar en él una cualidad concreta:

- Así, podemos evaluar la capacidad de trabajo anaeróbio aláctico a través el Sargent test o test de Lewis, consistente en el salto vertical tabulado o salto longitud pies juntos, o bien mediante dinamometría digital isocinética.

- La capacidad anaeróbica láctica se puede obtener a partir del Wingate test, o test de Margaria, en los que es el tiempo de mantenimiento del trabajo y la intensidad del mismo quienes nos llevan a solicitar la capacidad metabólica objeto de estudio.

- Para estudiar la capacidad aeróbica, considerada para casi todas las especialidades deportivas como básica, y fiel reflejo de la evolución y estado de forma de un deportista, se han ideado numerosos protocolos, algunos de los cuales seran descritos en el apartado de evaluación de la condición física de éste trabajo.

Nosotros buscamos tambien fundamentalmente evaluar la capacidad aeróbica de nuestra muestra, pero asímismo, para obtener influencias del ejercicio sobre algunos parámetros que pretendemos estudiar, se hace necesario un periodo de tiempo más largo de trabajo que el que definen la mayoría de los autores para una prueba de esfuerzo convencional, que oscila entre 6 y 18 minutos, pues en menos tiempo no se ponen en marchade forma completa los mecanismos aeróbicos, y en pruebas más largas, el sujeto es víctima del cansancio por agotamiento energético y de una cierta desmotivación que frecuentemente le hace desistir del esfuerzo máximo.

A. - PROTOCOLO EXPERIMENTAL .

Nuestro propósito con el protocolo de trabajo físico a que había de ser sometido el grupo de sujetos a examinar, y dada la excelente disposición de los mismos a colaborar en el proyecto investigador, era el de aplicar un proceso de actividad física :

a) DE INTENSIDAD CRECIENTE:

con objeto de permitir en el sujeto que las adaptaciones orgánicas a que hubiera lugar se instauren de forma fisiológica.

b) INTERVALICA :

con objeto de estudiar en los periodos fraccionados de trabajo y descanso, las adaptaciones cardiovasculares experimentadas, que obedece a uno de nuestros objetivos principales del presente estudio, al poder así determinar los efectos de la altitud sobre la capacidad de recuperación del individuo para diferentes cargas de trabajo, y de la solicitación cardiovascular (FC y TA) para las mismas cargas.

c) SUBMAXIMA :

por las razones que exponemos más adelante en el apartado de evaluación de la condición física, consideramos que son las pruebas submáximas las que mejor definen la condición física de un sujeto parauna prueba indirecta.

Se planteó el problema de adaptar una misma prueba de esfuerzo para sujetos de cualidades y capacidades físicas diferentes, ya que el grupo incluía sedentarios y deportistas con diferente grado de entrenamiento, por lo cual se barajó la posibilidad de aplicar protocolos diferentes, lo que finalmente fué deshechado.

Asimismo se planteó el problema del peso corporal, pues la diferencia de masa corporal y muscular era evidente entre algunos de los sujetos examinados, por lo que se planteó la posibilidad de aplicar cargas de trabajo proporcionales al peso total, de forma que a cada uno se le repartirían en un número constante de palliers una carga de trabajo obtenida del producto de su peso en kg por una constante de trabajo que sería de 2 W/Kg para sedentarios, y 3 W/Kg para deportistas, de tal forma que dos sujetos de 70 Kg pertenecientes a grupos diferentes, desarrollasen 140 0 210 w, con lo que las exigencias en última instancia serían parecidas. Esto nos pareció que podía complicar de alguna forma la interpretación de los resultados y asi artefactar las conclusiones posibles, por lo que finalmente se decidió establecer un protocolo interválico en seis palliers, con intensidades constantes e iguales para todos los sujetos, como forma de establecer de forma objetiva la diferencia entre ambos grupos, que si bien se hizó a partir de la historia persona. deportiva, estimamos sería conveniente plamarla en datos y cifras para indicar las capacidades en general de ambas poblaciones para posteriores trabajos y cotejarla con otros autores y países.

d) <u>PROLONGADA :</u>

para lograr la movilización de los de sustratos energéticos de reserva; para que sustratos como los

ácidos grasos tomen parte fundamental del aporte energético, es preciso mantener una actividad física durante un tiempo de al menos 30 minutos en sujetos sedentarios, pudiendo obtener el consumo de Oxígeno con tiempos menores, pero resultando insuficientes para nuestro objetivo.

Asímismo, algunas enzimas y la mayoría de las hormonas, solamente pueden ser influenciadas de forma significativa tras esfuerzos prolongados.

En función de los condicionamientos que nos imponemos, elaboramos un protocolo como el de la FIGURA 11 ,que presenta:

1)

Una fase previa de reposo absoluto en camilla, tendido en decúbito supino, en ropa de deporte, durante la cual se procede al registro electrocardiográfico en seis derivaciones: I, II, III, aVR, aVL y aVF durante el último minuto.

En ésta misma fase previa se obtienen los valores de tensión arterial sistólica y diastólica en tres ocasiones, a partir de las cuales se elaboran unas cifras promedio, resultando así más fiable que una simple determinación aislada.

La determinación de la Tensión Arterial se realiza mediante un aparato automático de medida marca DIG·EL, modelo DS-115, que utiliza un micrófono de alta sensibilidad como sensor. Los valores obtenidos con este sistema eran idénticos a los que se obtenían utilizando el sistema tradicional de columna de mercurio.

PROTOCOLO DE TRABAJO EN CICLOERGOMETRO

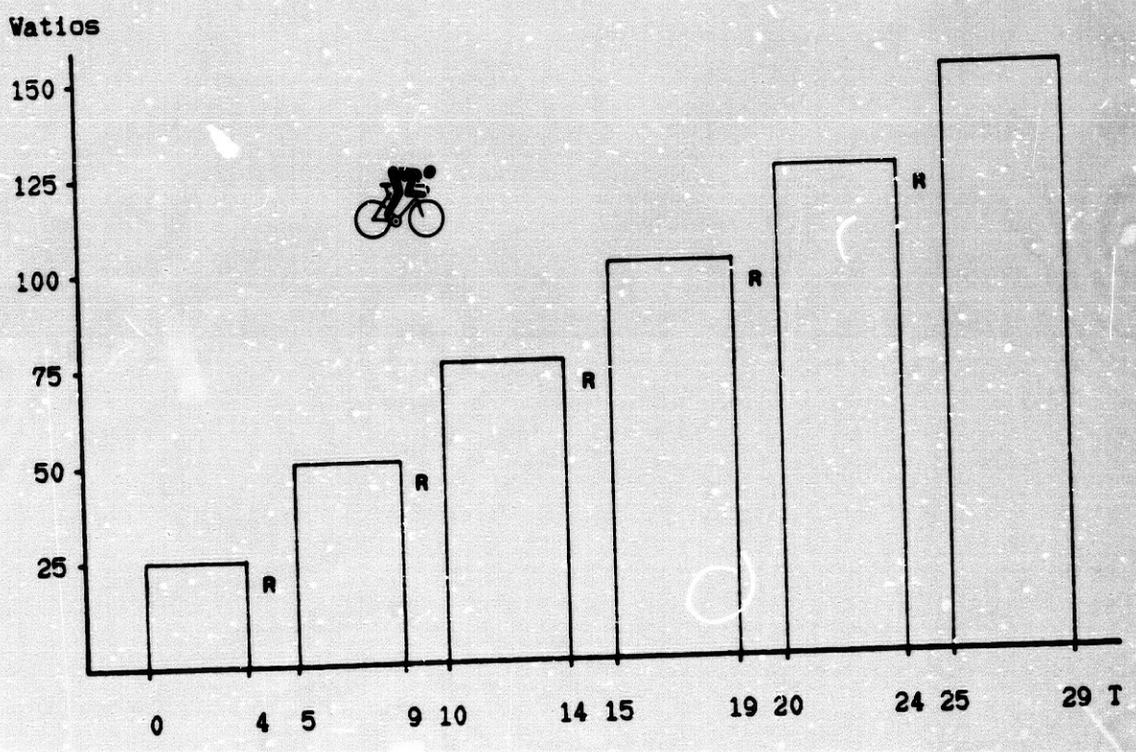


FIG. Nº 11

La frecuencia cardiaca se obtiene a partir del registro electrocardiografico en reposo, y con ayuda de un monitorizador de frecuencia cardiaca cuyo sensor se coloca en el dedo pulgar izquierdo, asímismo como referencia se utiliza la auscultación directa con estetoscopio, habiéndose obtenido siempre una absoluta igualdad en las mediciones por sendos procedimientos.

2)

A continuación, sentado sobre la misma camilla, y del brazo derecho por razones de método, al mantener el manguito neumático del tensiómetro colocado en dicho brazo durante toda la prueba y posterior recuperación, se extraen 25 ml de sangre venosa previa congestión de la extremidad mediante torniquete a nivel medio del brazo con cinta elástica de caucho.

3) En una tercera fase el sujeto toma asiento en el cicloergómetro marca MONARK, de freno mecánico,, el cual es adaptado de forma estandarizada a las condiciones de cada sujeto de tal forma que el sillín esté a una distancia del eje de pedales equivalente a la distancia 3/4 del segmento trocánter-maleolo peroneo, y manillar a la distancia postural normal de brazos extendidos hacia él, desde la vertical.

Durante ésta fase se repiten los controles de FC y TAS / D, obteniendo así los incrementos con respecto a la posición decúbito, y a la vez resulta más coherente obtener los incrementos debidos a los incrementos de cargas, desde la posición de reposo en la que se trabajará posteriormente (test de MARTINET)

Hemos de señalar que estos valores iniciales pueden estar ligeramente alterados, por ser consecutivos a una extracción sanguinea, que en algunos sujetos ocasiona una cierta ansiedad. De cualquier manera entre la extracción y la posición definitiva sobre la bicicleta ergométrica, transcurre un tiempo suficientemente prolongado como para que el individuo normalice sus reacciones centrales.

Antes de comenzar la fase de trabajo se coloca el manguito neumático del tensiómetro en el brazo derecho, de donde se obtuvo la primera extracción, y se obtiene el valor de T.A. anteriormente citado.

Asímismo se coloca al sujeto un eléctrodo en la parte distal del dedo pulgar, conectado a un aparato de medición instantánea de la frecuencia cardiaca, de lectura digital, previamente calibrado a 0 y a 250, según instrucciones.

4.- En ésta cuarta fase se inicia la actividad física, con un primer pallier de 25 W, y una duración de 4 minutos, tiempo considerado suficiente para alcanzar el estado estable, en el que FC y otros valores alcanzan cifras constantes, indicando que para dicha carga, la adaptación es máxima .

Durante todo el periodo de trabajo se controla la frecuencia cardiaca mediante el monitor de ritmo cardiaco, y simultaneamente se ausculta de forma convencional directamente sobre la piel de la zona del ápex cardiaco, obteniendo como anteriormente una perfecta correlación.

La tensión arterial resulta casi imposible de calibrar con el procedimiento tradicional de manguito neumático y columna de mercurio u oscilómetro, dadas las constantes con

tracciones de los musculos de la extremidad de los sujetos, que intervienen tambien en las fases del pedaleo, aunque de forma indirecta, y más en las cargas más altas.

Para obtener la TAS y TAD de trabajo, se infla el manguito neumático en los últimos segundos de la fase de trabajo, terminandc ésta operación casi coincidiendo con el STOP de la actividad física al final del pallier.

De forma automática, el tensiómetro se desinfla gradual mente, apareciendo en pantalla de forma digital, primero el valor de presión alcanzado por nosotros para cortar el flujo sanguíneo. Esta presión ha de ser siempre de 50 mm de Hg por encima de la sistólica que presente en ese momento, apareciendo en caso contrario "error" en la pantalla, simbolizado por una letra "E".

Al llegar a la TAS el valor obtenido queda registrado y se visualiza de forma permanente en pantalla, mientras se ve asimsimo el descenso gradual de la presión del manguito. Al llegar a la TAD, así mismo se detiene el descenso y se visualiza de forma permanente en pantalla.

Durante los 15 últimos segundos de la fase de trabajo se registra la frecuencia cardiaca, a la que consideramos como la FC para esa carga de trabajo, a partir de la cual obtendremos un punto en una gráfica de ordenadas (FC) y abscisas (tiempo en minutos).

5.- La quinta fase corresponde a la del primer período de descanso y dura 60 segundos, durante el cual el sujeto permanece sentado en el cicloergómetro, con instrucciones de alcanzar la máxima recuperación posible, a través de relajación basada en ejercicios respiratorios y concentración, da-

do que precisamente la capacidad de recuperación es uno de nuestros principales objetivos en este trabajo, comparando lo que ocurre en superficie con altitud.

En cuanto finaliza el trabajo se obtienen los valores de TAS/D, tal como se describe más arriba ,considerándolos como los valores de trabajo, a pesar de hallarse en el período de descanso o recuperación.

Los últimos 15 segundos de la fase de descanso son los que vamos a considerar, para, multiplicando por cuatro, calcular la FC que alcanza cada sujeto tras un minuto de recuperación. Esto obedece a la curva de recuperación cardíaca que como se describe en éste mismo trabajo, sufre un descenso inicial brusco tras el STOP, para entrar en una segunda fase de recuperación más lenta. Así pues, se considera sólamente la última fase de cada período de descanso para el cálculo de la FC de recuperación en cada pallier.

A partir de aquí, se incrementan las cargas en 25 w cada 4 minutos más uno de descanso, lo que hacen 5 minutos en 6 fases, o sea un tiempo de trabajo total de 30 minutos.

La fase de 60 segundos de descanso fue introducida por MADER (1976) con objeto de realizar una extracción capilar de sangre con la finalidad de determinar los niveles de lactato en cada incremento de carga y obtener con precisión el nivel de carga, FC,etc para los que el lactato circulante alcanzaba el valor de 4 mM/L, extrapolando los datos obtenidos a partir de una ecuación y hallando el punto exacto de carga para 4 mM/L

Nosotros empleamos la misma pausa con finalidad diferente:

a) Averiguar la recuperación para cada carga en superficie y altitud.

b) Tener la posibilidad de obtener de forma fiable los valores de TAS/D en cada pallier.

6.- La sexta fase se corresponde con la de recuperación definitiva, con un seguimiento de 8 minutos tras la conclusión de la prueba.

El último minuto (29-30) corresponde al de la recuperación del último pallier, que transcurre como los anteriores sobre la bicicleta ergométrica, tomando valores de FC y TAS/D .

A continuación se realiza en posición decúbito supino un nuevo registro electrocardiográfico en seis derivaciones, con 10 segundos de trazado en cada derivación, lo mismo que en la fase previa a la prueba.

La segunda extracción sanguínea se realiza en el brazo izquierdo entre los minutos 3 y 5, período en el que se considera máxima la concentración de sustancias vertidas a la sangre desde el músculo y glándulas de secreción interna.

La medición de la tensión arterial se realiza de forma constante a través del manguito neumático que permanece en todo momento sujeto al brazo derecho del sujeto, obteniendo un valor cada minuto, salvo en las fases de registro electrocardiográfico y extracción sanguínea.

La frecuencia cardiaca se obtiene de forma constante a través del monitor de ritmo y del electrocardiografo. Asimsimo se continúa con la auscultación a través de estetoscopio.

Hay que resaltar que a partir de la extracción sanguínea los resultados de las constantes cardiovasculares, en su conjunto, resultan diferentes de las de una recuperación normal pues aunque la mayoría no experimentó sensación alguna, otros sufrieron desvanecimeintos (3 en el total de las 62 extracciones) y alguno tuvo reacción taquicárdica ante la visión del material de extracción y de la sangre, por lo que los valores más fiables son los de los tres primeros minutos, aunque vamos a considerar la totalidad en el presente estudio.

Por lo demás todos los sujetos soportaron en perfectas condiciones la prueba y en ningún caso hubo de suspenderse o adoptar medidas espevciales de recuperación al finalizar la misma.

B. — DISEÑO EXPERIMENTAL .-

La prueba de esfuerzo, fraccionada, indirecta y submáxima se realiza siempre bajo unas determinadas condiciones:

a) DEL SUJETO :

- se presenta a la prueba en ayuno absoluto desde la noche anterior.
- en atuendo deportivo.
- no habiendo realizado ningún esfuerzo previo.
- no padece ningún proceso infeccioso ni de otro tipo.
- se ha abstenido de fumar y beber alcohol desde el día anterior.

b) DEL EXPERIMENTO :

- la prueba se realiza en orden aleatorio.
- el comienzo es indistinto en superficie o altitud.
- nunca se realizaron las dos pruebas en el mismo día.

c) DEL LOCAL :

- ventilado y tranquilo. Temperatura aproximada 22º C.

- presentes sujeto, investigador y un ayudante.

SITUACION LABORATORIOS.-

El laboratorio situado en "superficie", corresponde al laboratorio 1 del departamento de Biología Aplicada del Instituto Nacional de Educación Física de Granada, que en todo momento prestó total cooperación al desarrollo del presente trabajo, cediendo local, aparataje y ayuda administrativa al desarrollo del mismo.

Dicho laboratorio dispone de todo lo necesario para la realización de una prueba de esfuerzo, como queda reflejado en el apartado MATERIAL.

El laboratorio situado en altitud quedó instalado, tras la negativa de los responsables de la clínica que la Mutualidad General Deportiva tiene en la estación de esquí a cedernos un espacio de sus locales, y trás visitar varios locales gentilmente cedidos por la escuela nacional de esquí a través de su director Enrique Valenzuela, en el dispensario médico del albergue juvenil que posee la Junta de Andalucía en Pradollano.

Se trata de un local de reducidas dimensiones, pero que reúne todas las condiciones para llevar a cabo una prueba como la que nos ocupa, con camilla, agua corriente, corriente eléctrica y temperatura adecuada.

SUJETOS . -

La muestra a partir de la cual se han desarrollado las diferentes actividades que encierra el presente trabajo, se compone de un total de 31 personas, todas ellas varones, cuyas características de edad y otros parámetros antropométricos, vienen reflajados en las TABLA $3_{a y b}$

Como se aprecia se trata de una muestra de adultos relativamente jóvenes, que tras una breve anamnesis y exploración podrían catalogarse como sanos, sin que ninguno de ellos presentara tampoco obesidad, problemas alimentarios o toxicomanías.

Todos los sujetos se prestaron voluntariamente a la experiencia, mostrandose especialmente colaboradores, dadas las características especiales que requería el estudio, con varias extracciones de sangre de 25 ml en cada ocasión, el desempeño físico importante en condiciones adversas, como son las del ayuno, la hora temprana y las circunstancias de altitud de una parte de la experiencia que hizo más penoso el trabajo.

Fueron informados de la finalidad del trabajo con especial énfasis su vertiente cardiovascular, haciendo hincapié en el interés que este tipo de estudio tiene en la programación de los entrenamientos y las competiciones en altitud no solamente de los deportistas de alto nivel, sino de cualquier persona que decida trasladarse a una altitud como la que encontramos en la sierra granadina, con fines lúdicos o laborales. De hecho todos los sujetos subían de manera ocasional o habitual a Sierra Nevada para la práctica del esquí alpino.

CARACTERISTICAS ANTROPOMETRICAS

n = 31	$\bar{x}$	σ
EDAD	23,80	31,61
TALLA	176,70	6,24
PESO	69,90	5,40
% Grasa	11,52	1,82
CVR	4.851,00	536,00
VEMS	4.406,00	524,00
TIF	90,79	6,27
FCb	55,23	8,28
TAS	113,74	9,13
TAD	66,06	10,70
TAM	89,82	8,41

TABLA Nº 3a

Un grupo voluntario se prestó a la realizacion de test-retest para la confirmación de la utilidad del protocolo. Este último grupo fue escogido al azar.

EXAMEN PREVIO .-

Todos los sujetos fueron sometidos a un minucioso exámen previo que determinase su aptitud para el tipo de trabajo y la no existencia de contraindicaciones que perjudicasen al sujeto y al proyecto investigador en sí mismo.

La anamnesis giró en torno a la cumplimentación del siguiente esquema:

	H.T.A.	A.C.V.	I.A.M	NEFRO	DIABETES	OTRAS
ANT. FAM.	#		#			
ANT. PERS.				#		
ACTUAL						

= existencia de antecedentes patológicos.

MEDICACION ACTUAL_____DOSIS_____VACUNAS_____

TABACO_____ALCOHOL_____CAFE_____SAL_____OTRAS_____

EXPLORACION FISICA .-

La exploración física fue siempre realizada por el mismo investigador, siguiendo una sistemática preestablecida y con asignación específica de puntuación en los signos objetivados que no podían ser medidos numéricamente.

1) Exploración Antropométrica.

Los sujetos fueron pesados y tallados en ayunas, en atuendo deportivo y descalzos, en la forma que se indica en el apartado de material y métodos.

La composición corporal estimada en base a los pliegues cutáneos se determinó en la forma que se indica en el apartado de "otras pruebas realizadas" del capitulo Material y Métodos.

Ningún criterio antropmétrico fué utilizado para la clasificación de los sujetos, ni significó influencia alguna en la realización del protocolo.

2) Exploración Cardiovascular.

Incluía el estudio de los cuatro focos de auscultación, la frecuencia cardiaca de reposo, y la toma de tensión arterial, todo ello en posición decúbito supino.

Se realizó tambien un ECG previo en el que se valoraron la frecuencia, el ritmo y los trastornos del voltaje, para descartar cualquier proceso isquémico miocárdico o alteración electrocardiográfica.

3) Exploración respiratoria.

Realizada en base a una auscultación de campos pulmonares, realizando además una espirografía en la forma en que se detalla en el apartado "otras pruebas realizadas" del capitulo Material y Métodos.

SUBGRUPOS.-

Como describimos más adelante los sujetos fueron clasificados a posteriori según el grado de actividad física que habitualmente realizan, así de la muestra obtenida escindimos dos subgrupos, clasificados en función del historial deportivo de los últimos 6 meses, considerando:

a) SUBGRUPO SEDENTARIOS :

aquellos sujetos que realizan una actividad física con una dedicación menor de 2 horas semanales, estando allí incluída la marcha a pie en travesía, juegos y deportes populares que exijan desempeño físico etc, lo cual se determina por detallada historia personal deportiva.

Este grupo está constituído por personal del Instituto Nacional de Educación Física de Granada y médicos pertenecientes al Hospital Clínico San Cecilio y a la Residencia Virgen de las Nieves, ambos de Granada.

Constituye al mismo tiempo el subgrupo de más edad y más obeso tal como se aprecia en los cuadros descriptivos.

TABLA 3 b

	SEDENTARIOS				DEPORTISTAS			
	SUP		ALT		SUP		ALT	
	$\bar{x}$	±σ	$\bar{x}$	±σ	$\bar{x}$	±σ	$\bar{x}$	±σ
CT_{170}	168,40	25,02	153,50	26,50	205,00	31,30	179,47	36,30
W/Kg.	2.50	0.42	2.99	0.33	2,91	0.52	2,54	0.53
$VO_{2\ max}$	43,74	3,84	41,40	4,30	47,94	5,71	44,42	5,37
UA	111,60	14,40	116,80	12,80	102,09	13,31	107,47	12,56

b) SUBGRUPO DEPORTISTAS :

Hemos considerado como deportistas, o entrenados, para diferenciarlo del subgrupo sedentarios, aquellas personas que de forma sistemática realizan una actividad física de forma habitual y organizada, en cualquiera de sus aspectos de entrenamiento, competición, etc, de más de 3 horas semanales.

20 de los componentes de este subgrupo son alumnos de los cuatro primeros cursos del Instituto Nacional de Educación Física de Granada, y uno es un atleta granadino participante en una olimpiada en su especialidad.

CRITERIOS UTILIZADOS. -

La separación de ambos subgrupos del total ha obedecido a un criterio puramente personal, pues no existen márgenes en medicina del deporte o en Fisiología del ejercicio que radicalicen la situación de sedentario o deportista de forma absoluta. Aunque el concepto sedentario es evidente, la cantidad de tiempo que se ha de emplear en salir de este status, está en función de la intensidad, tipo de ejercicio realizado y otras variables.

En cualquier forma, el American College of Sport Medecine, por asesoramiento de la American Society of Cardiology, determina que una actividad física que eliminaría el sedentarismo como factor de riesgo para la enfermedad coronaria, sería aquella en la que el sujeto realizase una actividad fí-

sica de las llamadas aeróbicas o de endurance, poniendo como ejemplo las tres actividades básicas o comodines: carrera continua, ciclismo y natación, en las que se desarollase un trabajo de un mínimo de 30 minutos por sesión, durante 3 días por semana, a una intensidad del 65 % del consumo máximo de oxígeno.

Este porcentaje se puede calcular con exactitud solamente al realizar una prueba máxima, y a partir de ella elaborar porcentajes, pero dado el riesgo que encierran este tipo de pruebas, máxime en sedentarios, adultos o enfermos, las intensidades se hacen tomando como valor control la frecuencia cardiaca, manteniendola en un nivel estable (STADY STATE), que será necesario relacionar con un ritmo de pedaleo, brazada o zancada, para regulando y conociendo la velocidad, mantener el ritmo por debajo de aquel que ocasionaría acidosis, generando fatiga y yendo en contra de las pretensiones que este tipo de actividad busca.

DE ROSE establece un criterio de determinación de la frecuencia cardiaca de trabajo, en función de la FC basal, la FC máxima teórica, obtenida a partir de la fórmula del fisiólogo sueco P.O. ASTRAND (220 - edad), y la intensidad del trabajo buscada, que queda de la siguiente forma:

$$\text{Intensidad del esfuerzo en \%} = \frac{FC_{trabajo} - FC_{basal}}{FC_{max\ teo} - FC_{basal}} \times 100$$

Otros autores dan la frecuencia cardiaca de entrenamiento en función de la basal y la máxima, considerando la cifra obtenida como la idónea para solicitar de forma intensa el sistema aeróbico:

$$FC_{entrenamiento} = FC_{basal} + 0.6\ (FC_{max\ teo} - FC_{basal}).$$

SITUACION TEMPORAL . -

Las opciones que encontramos para situar el presente trabajo vienen condicionadas por varios factores:

1) El periodo invernal resulta idóneo, al estar a pleno funcionamiento la estación de esquí, y encontrar en las instalaciones y dependencias dela misma el apoyo necesario (albergue, farmacia ...)

2) El periodo lectivo en la Universidad, ha permitido contar con la muestra de población necesaria para poder llevar a cabo el estudio, al ser la mayoría del grupo Deportistas, alumnos del Instituto Nacional de Educación Física de Granada.

3) Al ser viable éste trabajo gracias a la ayuda económica prestada por el Instituto de Ciencias de la Educación Física y el Deporte (ICEFy D), a través de una beca concedida al proyecto original presentado el mismo, no se pudo comenzar hasta no percibir las primeras cantidades, lo cual resultó ser Enero de 1986.

4) La hora elegida para la prueba, dadas las particulares circunstancias de ayuno, reposo,etc, y ante la necesidad de repetirla en altitud en el mismo horario para cada persona que en superficie, o viceversa ,y teniendo en cuenta los horarios de trabajo y estudios de los voluntarios, quedó establecida de forma elástica, entre las 7 y las 10 de la mañana, para evitar los cambios circadianos que afectan a determinadas constantes biológicas.

RECOGIDA DE MUESTRAS y ANALISIS REALIZADOS.--

La extracción de sangre a los sujetos se hizó a partir de una extremidad congestionada con torniquete como el anteriormente descrito, de una vena que en todos los casos fue fácilmente accesible, no sufriendo ningún contratiempo, mediante jeringas estériles de un solo uso de 20 ml que fueron totalmente rellenas, dando volumenes de 25 ml de sangre tras superar la embolada el límite marcado para 20 ml

La extracción se hizó lentamente para evitar el riesgo de hemólisis, capaz de introducir un factor de error en la cuantificación de los diversos parámetros que pretendemos medir.

Posteriormente la sangre se vierte en varios tubos (5) :

- 2 ml son vertidos en un tubo conteniendo un sólo anticoagulante (EDTA dipotásico), agitando manual y lentamente. Este tubo se mantiene a temperatura ambiente bien protegido de la acción del calor.

Posteriormente y en un plazo máximo de tres horas es llevado a analizar, procediendo al recuento de serie roja y blanca, interesandonos los valores de :

- Globulos Rojos
- Hemoglobina
- Hematocrito
- Leucocitos.

- 2 ml son vertidos en un tubo conteniendo un solo anticoagulante (fluoruro de oxalato), de un solo uso, realizado de forma lenta para evitar hemólisis, y mezclado manualmente para disolver el anticoagulante que se encuentra en forma cristalizada.

Se mantiene a temperatura ambiente y protegido, y se traslada a un laboratorio de Bioquímica donde se centrifuga durante 3 a 5 minutos a 3000 rpm para obtener el sobrenadante, a partir del cual se determinan los niveles de glucemia por el método de la glucosa oxidasa, utilizando un Beckman II Glucose Analizer.

- En dos tubos de polipropileno de 10 ml se vierten 8 ml de sangre guardando las precauciones descritas en los anteriores, que son introducidosinmediatamente en un recipiente de cristal con hielo fundente, que permite conservar la muestra en éstas condiciones de 1 a 4 horas, permaneciendo así hasta su inmediata centrifugación in situ, en dos sesiones de 10 minutos a 3000 rpm, procediendo entre una y otra a despegar los posibles coágulos de las paredes y favorecer la precipitación en una segunda centrifugación, para obtener el plasma sobrenadante.

Estos tubos contienen una disolución al 50 % de un anticoagulante (EDTA), y TRASYLOL, que actúa como inhibidor enzimático, para impedir la desnaturalización de algunos parámetros hormonales que intentamos medir.

- En un último tubo de iguales características a los dos anteriores, pero sin ninguna sustancia en el interior, se vierten 4 ml de sangre tomando todas las precauciones anteriormente citadas.

Asímismo se conserva esta vez en un baño de agua a 37º C en un recipiente con termostato, para favorecer la formación y retracción de un coagulo que precipite en la inmediata centrifugación junto con los dos tubos anteriores siguiendo la misma metodología.

El sobrenadante obtenido tras centrifugacion, se pipetea en cantidades alicuotas de 0.5 ml, tanto para suero como para plasma, en tubos PS-3, siendo marcados con el numero de prueba realizada, del 1 al 62, mas una "a" o una "d", de antes o despues del ejercicio (prueba de esfuerzo).

Colocados en gradillas, se obtienen 28 tubos de plasma y 6 de suero, de los cuales dos se envian a un laboratorio de Bioquimica donde se realizan los análisis de la serie grasa AC. GRASOS NO ESTERIFICADOS, COLESTEROL, HDL-COLESTEROL, y TRIGLICERIDOS, mediante métodos enzimáticos colorimétricos que son los standar del laboratorio.

Al resto de los tubos se les coloca en un arcón congelador a una temperatura de -20º C, hasta la realización de las posteriores determinaciones: INSULINA , GLUCAGON, ACTH, HGH, SOMATOMEDINA-C, y ACIDO LACTICO.

Estas se realizaron mediante radioinmunoanálisis utilizando kits comercializados por diferentes firmas de laboratorios especializados. Estas técnicas se encuentran perfectamente validadas y fueron realizadas por personal experto.

El ácido láctico en plasma se determinó con especial precaución para evitar resultados artefactados utilizando la técnica "Test-Combination Lactato" completamente enzimático test UV, nº 256773, de Boehringer Mannheim GmbH Diagnóstica, Meylan, FRancia.

De igual manera se realizaron el resto de las determinaciones utilizando los siguientes reactivos:

Para determinación de Insulina (I), IS, GIF SURE YVETTE, Francia.

Para el Glucagón, DAICH II, Radioisotope lab., Tokio, Japón.

Para el ACTH, GIF SURE YVETTE, Francia.

Para la HGH, SORIN, Biomédica, Saluggia, Italia.

Para la SOMATOMEDINA-C, Labo. Abelló, Madrid, España.

OTRAS PRUEBAS REALIZADAS .-

PRUEBA DE CAPACIDAD FUNCIONAL VENTILATORIA . -

Con objeto de proceder a una correcta clasificación y valoración de las características morfológicas y funcionales de los sujetos, se realizan una serie de pruebas, de las comunmente empleadas en Medicina Deportiva para clasificar como apto a una persona para la práctica de una actividad física moderada o intensa. Una de ellas es la realización de una prueba de valoración llamada:

ESPIROGRAFIA .-

Se realiza con la ayuda de un espirógrafo VICATEST - 3, de campana seca, con el siguiente método:

A través de una boquilla de cartón de un solo uso, incrustada en la parte distal de un tubo flexible de grueso calibre, y resistencia minima al flujo del aire, se expulsa la mayor cantidad de aire posible que se es capaz de almacenar previamente en los pulmones, para lo cual se hace una inspiración profunda, precedida de varios movimientos ventilatorios importantes para solicitar poco a poco los "espacios muertos" pulmonares, y los músculos que participan en la dinámica ventilatoria, ésta cantidad máxima a su vez ha de ser expulsada en un tiempo minimo.

El aire a través del tubo flexible se introduce en una campana que moviliza una serie de poleas poniendo en marcha un dispositivo que arrastra el papel de registro a una velocidad constante, de tal forma que un segundo corresponde a una determinada longitud del papel-gráfica.

Al mismo tiempo, el flujo de aire moviliza un dispositivo gráfico, que se desliza mientras siga habiendo flujo, dejando una huella en el papel, a través de la cual obtenemos dos valores de interés:

- VEMS, o volumen espiratorio máximo en el primer segundo, y

- CV, o la máxima capacidad vital, aire de que somos capaces de proveernos en una inspiración máxima.

A través de ésta prueba podemos determinar la existencia de una insuficiencia respiratoria de tipo restrictivo o bien obstructiva, cosa que no ocurre en nuestra muestra, pero que es causa de no aptitud a la competición federada, y hubiera sido motivo de eliminación de nuestra casuística a quien la hubiere presentado.

DETERMINACION DEL SOMATOTIPO . -

Siendo la composición corporal uno de los factores más importantes a tener en cuenta a la hora de controlar la evolución de cualquier persona, y máxime la de un deportista, nos ha parecido imnteresante averiguar el porcentaje de grasa de la muestra, a partir del método de HEAD-CARTER de obtención de los pliegues cutáneos.

Este factor adquiere un doble interés al pretender correlacionar dichos valores con la facultad de movilizar las grasas durante el ejercicio, en función de la obesidad, grado de entrenamiento y ambas situaciones en un ambiente normal e hipóxico.

La medición de los pliegues cutáneos se hace con el sujeto de pie, en posición anatómica, con el tronco desnudo y relajado.

El examinador, provisto de un Caliper, pinzará con los dedos índice y pulgar y siempre en el lado derecho del sujeto, 4 pliegues, dando lectura en la esfera del caliper, con discriminación de 0.2 mm, por un totalde tres veces en cada localización, obteniendo como cifra definitiva aquel que se repita dos veces, o la media de los tres.

I localización es:

a) Pliegue subescapular (SC): formando un ángulo de 45 grados con el eje de la columna vertebral, procurando tomar solamente piel, colocando la pinza del caliper a una distancia de un cm de los dedos, y dando lectura a la cifra en los dos primeros segundos, pues posteriormente se produce una adaptación, pese a poseer el caliper una presión constante de una atmósfera, y deslizamientos involuntarios, que afectan al valor real.

b) Pliegue tricipital (TR): se toma un pliegue con índice y pulgar siguiendo el eje mayor del brazo, perpendicular al suelo, en tercio medio de la zona de piel correspondiente al triceps braquial, observando todas las indicaciones previas.

c) Pliegue suprailíaco (SI): formando 45 º con el eje mayor del abdómen, a 4 cm por encima de la espina ilíaca superior derecha.

d) Pliegue paraumbilical (PU) : en el sentido del eje mayor del abdomen, a 4 cm del eje.

Con los datos obtenidos, se aplican las siguientes operaciones para obtener el tanto por ciento de grasa:

$$\% \text{ GRASA} = [\ \Sigma\ (\ SC + TR + SI + PU\ )\ x\ 0.153\ ]\ +\ 5.783\ .$$

A partir de ahí, la cantidad de grasa que se tiene se calcula mediante la fórmula :

$$\text{GRASA CORPORAL} = \frac{\text{peso en Kg}\ \ x\ \ \%\ \text{grasa}}{100}$$

El peso se obtiene descalzo y en pantaloncillo de deporte, en una báscula con una precisión de 100 gramos, y tan sólo con ocasión de la realización de la prueba en superficie, pues entre una y otra prueba no transcurre tiempo suficiente como para que existan diferencias de interés que perjudiquen el resultado final, siempre según nuestro criterio.

La talla se obtiene en un tallímetro con precisión de 0.5 cm, descalzo, de espaldas al mismo y en máxima inspiración. Su utilidad es averiguar la capacidad vital teórica a partir de talla y edad, y la obtención del peso ideal a partir de la fórmula de BOEDA y BODELET (1983).

$$P.I. = P.R. - (S.C. - 75) \times (0.003 \times T - 0.384)$$

donde: S.C. = pliegue cutáneo subescapular, en décimas de milimetros.

T. = talla en centímetros.

P.I. = peso ideál en Kg.

P.R. = peso real en Kg.

MATERIAL LABORATORIO FISIOLOGIA DEL EJERCICIO .-

1 - ERGOMETRO.

Con objeto de que la cantidad de trabajo a que es sometido cada sujeto, en las diversas situaciones que exige el protocolo experimental del presente trabajo, sea facilmente objetivable y reproducible, se ha contado con un cicloergómetro que reune las siguientes características:

- bicicleta ergometrica de freno mecánico, en base al rozamiento regulable que efectua una correa que rodea a la rueda por una hendidura central (similar a una rueda de bicicleta sin tubular).

Los dos extremos de la correa están unidos a un tambor móvil que permite giros, y fijo a su vez a un péndulo. El sistema funciona asi como una báscula que mide la diferencia de fuerza de tracción a los extremos de la correa. Esta puede ser tensada por un brazo de palanca que se regula mediante un volante, y la posición del péndulo es leida en kilogramos sobre una escala graduada.

La fuerza de franado se obtiene regulando la tensión de la correa, multiplicada por el trayecto recorrido por el desarrollo impuesto a la bicicleta, dando un número de kilográmetros, equivalentes al trabajo real realizado.

El desarrollo ha sido calculado de forma que una pedalada completa desplace una distancia de 6 metros.

La frecuencia de pedaleo oscila entre 30 y 100 r.p.m., habiendo elegido para nuestro trabajo la frecuencia 50 equivalente a 18 Km/h

- Ajuste de la carga:

el cicloergómetro se ha de situar sobre un suelo solido y plano, como los de los dos laboratorios donde realizamos el trabajo.

La carga 0 se obtiene ajustando al inicio de la prueba, y sin que el sujeto apoye en los pedales, el marcador del péndulo sobre el punto 0 kilogramos.

En cada pallier la carga se incrementa en 25 W aumentando 0.5 Kgr con el volante de mando de la resistencia. Los incrementos pueden ser elegidos a voluntad siendo 15 w la carga mínima que podemos controlar, alcanzando un máximo de 560 w.

2.- MONITOR DE PULSO CARDIACO MODELO CLINICO.-

Este monitor esta diseñado para indicarnos de forma continua el ritmo cardiaco. Promedia con cada latido el valor medio del ritmo cardiaco por minuto en una amplitud de 20 a 200 latidos por minuto.

Se pueden seleccionar tres tipos de entradas:

- Pletismografo fotoelectrico

- Pulsometro de cristal

- Juego de electrodos ECG

Se puede realizar, por lo tanto, una facil seleccion de cualquiera de las tres entradas conectadas simultaneamente para realizar un registro selectivo. Cada latido detectado produce un sonido externo, cuya intensidad puede ser controlada. Asimismo la detección de cada latido vendra indicada por un punto luminoso.

Posee una calibración interna situada en 0 y en 150 lat/min y además posee una salida auxiliar analógica de un voltio por cada 100 latidos/minuto. Esta unidad alimentada por corriente alterna se puede utilizar de tal forma o bien conectarla a un polígrafo DATAGRAPH para obtener un registro gráfico, continuo, de los cambios de ritmo cardiaco.

ESPECIFICACIONES :

Base de tiempo: controlada por cristal de cuarzo de un megaciclo, con una precisión de +/- 5 partes por millón.

Precisión: +/- un latido/minuto

Gama de medida: 20 a 200 latidos/minuto

Indicador: Display digital electro-luminiscente

Dimensiones: 12x23x27.5 , 2.5 Kg de peso.

Entradas seleccionables: Pletismografo fotoelectrico, pulsimetro de cristal o juego de electrodos ECG.

Salidas: salida auxiliar analógica de 1 voltio por cada 100 latidos/minuto.

Calibración: desde 0 a 150 latidos/min

3.- ELECTROCARDIOGRAFO SAN-EI .-

El ECG SAN-EI modelo 1E-21, es un aparato de un solo canal, el cual desarrolla todas las funciones esenciales necesarias en electrocardiografía.

Dotado de semiconductores y circuitos integrados, ofrece una alta seguridad y fiabilidad. Los controles se encuentran reducidos al minimo, lo que proporciona facilidad de manejo.

CARACTERISTICAS :

- La corriente de fuga se reduce a menos de 5 microamperios, gracias a un circuito de entrada flotante, logrando maxima seguridad para el examinado.

- El IE-21 incorpora un amplificador buffer, obteniendose un registro sin distorsion y extremadamente estable.

- Son posibles tres tomas de utilización: a red, con bateria externa o con bateria incorporada. Esta se recarga automaticamente mientras que el equipo esta funcionando a red.
Ademas incorpora un aparato de medida para comprobar el estado de la misma. Al fallar la tensión de red entra automaticamente en funcionamiento la bateria.

- El circuito de entrada esta protegido contra la utilización de desfibriladores, asi como contra sobrecargas y sobre descargas.

- Se pueden hacer marcas en el registro a voluntad para localizar cualquier anomalía o control de tiempos.

- Incorpora un filtro que elimina el zumbido producido por la red y una señal de un milivoltio para calibrar el equipo.

4.- TENSIOMETRO .-

Para el control de la tensión arterial, contamos con un " DIGITAL BLOOD PRESSURE MONITOR MODEL DS-91 " que ha sido contrastado con columna de mecurio encontrando plena similitud en los hallazgos de prueba realizados previa mente al inicio de la investigación.

Al conectar el aparato, tarda 7 segundos en visualizar el cero en su pantalla digital, señal de comienzo de inflado manual del manguito neumático, siempre aproximadamente 50 mm de Hg por encima de la TAS considerada teórica para cada sujeto y cada situación.

El manguito se desinfla de forma gradual y automática, quedando registrado en pantalla en valor de la TAS, de la misma forma el valor de la TAD y finalmente las pulsaciones promedio del tiempo que transcurrio mientras se realizó la lectura de la presión arterial.

El tiempo de lectura oscila en función de la diferencial de cada sujeto y de cada situación, viéndose ésta por ejemplo incrementada durante la actividadfísica, pero siendo siempre inferior al minuto y oscilando entre 15 y 25 segundos.

5.- COMPAS DE HOLTAIN PARA MEDIR PANICULO ADIPOSO .-

Este instrumento ha sido diseñado para una presión constante de 10 grs/mm^2 a lo largo de toda su amplitud de medición con el dial graduado en divisiones de 0.2 mm pudiendose estimar con facilidad 0.1 mm.

Fue diseñado por TANNER/WHITEHOUSE en 1959, y sus tablas logarítmicas de transformacion del panículo adiposo han sido sustituídas por las que referimos en el apartado METODOS del presente trabajo.

6.- ESPIROGRAFO VICATEST-3 .-

Este espirómetro de registro de operador manual, tiene una capacidad de hasta 10 litros, con un rango de 0 a 10 litros.

La resistencia máxima estática es de 2 cm W.p. a 5 l/seg.

El resgistro se realiza sobre una grafica DIN A-4 que ajusta en un soporte y hace coincidir el punto (0,0) de tiempo y litros con un rotulador instalado en el brazo de mando conectado a la campana seca a traves de un complejo sistema de poleas, que entrará en acción al espirar a través de un tubo de 120 cm de longitud que ofrece mínima resistencia al aire, poniendo en marcha un motor que arrastra la gráfica mientras está siendo impresa, a una velocidad de 30 mm/seg.

MATERIAL DE LABORATORIO CLINICO .

- Diverso material fungible y no inventariable propio de un laboratorio para determinaciones bioquímicas.

- Espectofotómetro

- Analizador hemático Coulter modelo " S ".

- Centrifuga de mesa marca BECKMAN, modelo TJ-6.

- Centrifuga refrigerada marca JOUAN, modelo K 101.

- Contador de radiaciones para tubos marca Behring Gamma counter 1612.

ANALISIS ESTADISTICO

La realización del análisis estadístico ha venido condicionada por la distribución de los grupos y variables que obedecen a las siguientes características:

Un grupo considerado como TOTAL, constituído por sujetos voluntarios sanos, hasta un total de $n = 31$.
Dicho grupo está dividido en dos subgrupos de $n = 10$, y $n = 21$, de sujetos sedentarios y deportistas respectivamente.

Cada uno de los grupos a su vez ha estado sometido a la acción de dos variables:

a) Ejercicio de intensidad moderada durante 30 minutos, obteniendo datos analíticos antes, durante y despues de esfuerzo, realizado en condiciones normales .

b) Dicho ejercicio y las tomas de muestras son repetidas en un ambente hipóxico.

Con objeto de realizar el análisis comparativo entre los diversos grupos, teniendo en cuenta las variables dependiente, independiente y experimentales, procedemos en primer lugar a describir el

TEST DE COMPARACION DE VARIAS VARIANZAS .-

Dadas r muestras de tamaños n_1 , n_2, ... / ... n_r , procedentes de poblaciones normales con varianzas σ^2_1 , σ^2_2 , --

... / ... σ^2_r , se trata de contrastar la hipotesis nula H_0: varianzas iguales, frente a la alternativa H_1 : algunas de las igualdades no es cierta.

Para ello se calcula la cantidad

$$X^2_{EXP} = \frac{1}{C} \times \left(\sum f_i \right) \times \ln \frac{\sum f_i \times S^2_i}{\sum f_i} - \sum r_i \times \ln S^2_i$$

donde S2 es la varianza de la muestra i, $f_i = n_i - 1$, y el valor C

$$C = 1 + \frac{1}{3\,(r-1)} \times \left(\sum \frac{1}{f_i} - \frac{1}{\sum f_i} \right)$$

Esta cantidad se compara con la cantidad teórica obtenida de las tablas de la distribución X^2 con r-1 grados de libertad y nivel α deseado.

Se aceptará la hipótesis nula si se cumple que $X^2_{exp} \leq X^2_{\alpha,\, r-1}$, y se rechazará en caso contrario.

En el caso de aceptación de la hipótesis nula, todas las comparaciones múltiples entre tratamientos fijos de un análisis de la varianza se realizaran mediante un test de BONFERRONI para tamaños de muestras distintas $n_1 \neq n_2$:

$$t_{exp} = \frac{\bar{X}_i - \bar{X}_j}{S^2 \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$

donde t_{α} , sigue la distribución de *BONFERRONI*.

Si la hipótesis nula no se puede aceptar, por ser (X^2_{exp} > $X^2_{\alpha,\ r-1}$) se aplica el test de *WELCH*.

$$t_{exp} = \frac{\bar{X}_i - \bar{x}_j}{\frac{S^2_i}{n_i} + \frac{S^2_j}{n_j}}$$

cuya t_{α} , ν sigue una distribución t de *STUDENT* .

COMPARACION DE DOS MEDIAS CORRESPONDIENTES A GRUPOS APAREADOS. -

Se entienden como grupos apareados aquellos en que los mismos sujetos de una muestra son medidos en dos situaciones diferentes (antes y despues de una actividad física objetivable ; trabajo físico en superficie, Granada y el mismo trabajo en altitud) o bien aquellos grupos, de igual número de sujetos, que se han constituído mediante pares de sujetos que se han constituído mediante pares de individuos equivaequivalentes en las variables o factores que influyen sobre los resultados objeto de la investigación.

La fórmula de tipificación de la diferencia entre dos medias aplicada a datos apareados es la siguiente:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\left(\frac{S^2_d}{n} \right)^{1/2}}$$

Siendo $S^2_d = \frac{\Sigma d^2}{n} - \left(\frac{\Sigma d}{n}\right)^2$ donde

Σd es la suma de las diferencias ($x - y$) de los pares de valores, y Σd^2 la suma de las diferencias ($x - y$) al cuadrado.

Para poder rechazar H_0, que diría que las diferencias son debidas al azar y, por tanto, NO SIGNIFICATIVAS, hay que comparar el coeficiente " t " obtenido con el que indiquen las tablas para los grados de libertad y márgen de error escogidos.

En el caso de grupos apareados, los grados de libertad son : n - 1, y el error α según las condiciones del ejercicio.

ENSAYO DE HIPOTESIS Y SIGNIFICACION PARA

DIFERENCIA DE MEDIAS DE GRUPOS $N_1 \neq N_2$ (PEQUEÑAS MUESTRAS)

Tomamos dos muestras de tamaños N_1 y N_2 de poblaciones normales cuyas desviaciones típicas son iguales, con medias y desviaciones típicas calculadas y queremos ensayar la hipótesis H_0 de que entre las muestras no existen diferencias significativas, al provenir de la misma población.

Calcularemos la "t" de una distribución t de STUDENT con : $(N_1 + N_2 - 2$ grados de libertad, para unos intervalos de confianza que determinaremos en función de objetivos y resultados y lo relacionaremos con el valor de la t experimental que obtenemos a partir de la fórmula :

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma \left(1/N_1 + 1/N_2 \right)^{1/2}}$$

donde $\sigma = \left[\left(N_1 S^2_1 + N_2 S^2_2 \right) / \left(N_1 + N_2 - 2 \right) \right]^{1/2}$.

RECTAS DE REGRESION.-

COEFICIENTE DE CORRELACION.-

Dados n pares de valores correspondientes a una muestra de n individuos, en los que los valores " x " corresponden a una variable, y los valores "y", a una segunda variable, se obtiene el diagrama de dispersión o nube de puntos, representando gráficamente en el plano -- los puntos cuyas coordenadas son : (X_i , Y_i).

La ecuacion de la recta de regresión de y sobre x es :

$$Y - \bar{Y} = \frac{S_{xy}}{S^2_x} (X - \bar{X})$$

donde S^2_x es la varianza de los valores muestrales y S_{xy} es la covarianza, que calculamos según la fórmula:

$$S_{xy} = \frac{\Sigma (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{Y})}{n}$$

Esta ecuación muestra que la recta de regresión de Y sobre X pasa por el centro de gravedad de la nube de puntos, que es : (X , Y) , y tiene por pendiente:

$$\alpha = \frac{S_{xy}}{S^2_x}$$

La ordenada en el orígen de ésta recta se obtiene para $x = 0$, y es :

$$Y = \frac{S_{xy}}{S^2_x} \bar{X}$$

Para medir la bondad del ajuste lineal se utiliza el

COEFICIENTE DE CORRELACION LINEAL , que se obtiene por la fórmula:

$$r = \frac{S_{xy}}{(S^2_x \; S^2_y)^{1/2}}$$

donde S^2_y es la varianza de los valores muestrales y_1 , y_2 , .../... , y_n.

Para decidir sobre la inferencia del coeficiente de correlación lineal entre "x" e "y" en la muestra respecto del coeficiente de correlación lineal entre "x" e "y" en la población, se emplea un contraste de hipótesis que establece la hipótesis nula $H_0 : \delta = 0$, siendo δ el coeficiente de correlación lineal entre "X" e "Y" en la población.

Tras calcular la cantidad :

$$t_{exp} = \frac{r}{(1 - r^2)^{1/2}} (n - 2)^{1/2}$$

se compara con una cantidad teórica t_{α}, $n-2$, obtenida en las tablas de distribución de t de STUDENT con $n - 2$ grados de libertad y al nivel deseado, rechazando la hipótesis nula si $t_{exp} > t_{\alpha, n-2}$.

Existen tablas que contienen los valores críticos del coeficiente de correlación de la muestra, r , para la comprobación de la hipótesis nula que establece una correlación de la población igual a cero.

Estas tablas dan los valores de r necesarios para alcanzar una significación estadística al nivel "α" especificado enfunción de los grados de libertad.

Para la realización del análisis estadístico descrito y tabulado en el presente trabajo, hemos utilizado un ordenador AMSTRAD, modelo PCW8256, al que se le han introducido programas para obtener todos los resultados con un alto grado de fiabilidad, trabajando con 7 decimales.

RESULTADOS

INTRODUCCION.-

Los resultados obtenidos a lo largo del presente estudio los vamos a agrupar en diferentes apartados, atendiéndo a la forma de obtener los datos (analitica, toma directa) y a los aparatos y sistemas explorados.

CAPITULO I : C A R D I O V A S C U L A R .-

Procedemos en primer lugar al estudio de las respuestas del sistema cardiovascular, tanto en reposo como a lo largo del protocolo estandarizado de trabajo de 29 minutos de duración, con seis pausas intercaladas cada 4 minutos tras las cuales el esfuerzo se incrementa, realizándose por dos veces el trabajo, una en "superficie" (Granada) y una segunda vez en alta altitud .

Prestamos especial atención a las variaciones de la Frecuencia Cardiaca a lo largo del protocolo de trabajo, analizando con detalle la relación entre la población deportista y la sedentaria, así como la influencia de la altitud sobre los valores de pulso en ambos grupos de población.

Tiene especial importancia en nuestro estudio el control de la Frecuencia Cardiaca durante las fases de recuperación, tanto a lo largo del protocolo de trabajo como en el periodo inmediatamente posterior al final de la prueba, con objeto de definir el periodo de vuelta a la calma ante diferentes cargas de trabajo, en ambos ambientes (superficie y altitud)

En este mismo apartado estudiamos las variaciones de los valores de la tension arterial sistolica y diastolica, tanto en reposo como al final de cada periodo de trabajo, asi como durante la fase de recuperación.

Haciendo uso de los valores anteriormente descritos, obtenemos el "doble producto", o índice ISTT, calculado por el producto de la FC por la TAS en un momento dado, tomando éste en el final de cada pallier del protocolo establecido, así como en la fase previa y posterior recuperación, todo ello en ambos grupos y ambientes.

CAPITULO II : VALORACION FUNCIONAL.=

Con objeto de valorar el estado físico-funcional, o de capacidad de rendimiento de la muestra, hacemos un análisis de las diferencias obtenidas como consecuencia del grado de entrenamiento y del ascenso a alta altitud, entre cuatro parámetros considerados como indicadores del estado de forma física y estudiados de forma rutinaria en Medicina Deportiva:

a) Consumo Máximo de Oxigeno ($VO_{2\ max}$).

b) Umbral Aeróbico (primer punto de ruptura en la rel: FC/W)

c) Watios desarrollados por Kg de peso corporal total.

d) PWC_{170} (Capacidad de tabajo a 170 pulsaciones).

CAPITULO III : VALORES HEMATICOS .-

Dentro de las tres fases de la dinamica del oxigeno: captacion, transporte y utilizacion, la sangre ocupa una funcion fundamental y sus diversos componentes sufren importantes variaciones que tratamos de objetivar y cuantificar a lo largo del presente estudio, tanto como consecuencia del desarrollo de una actividad fisica prolongada e intensa, como - por al ascenso subito a alta altitud.

Analizamos con especial atención los cambios experimentados por los valores del valor Hematocrito, concentración de Hemoglobina, y contenido en Glóbulos blancos y Hematies , antes y despues del ejercicio, asi como los valores de los incre - mentos o decrementos en superficie y altitud.

CAPITULO IV : ANALISIS BIOQUIMICO .-

A) ESTUDIO METABOLICO :

Dado el caracter prospectivo del presente trabajo acerca de los factores de riesgo que el ascenso súbito a alta altitud ejerce sobre la dinámica cardiovascular, riesgo coronario, hipertensivo, etc, profundizamos asímismo en los aspectos metabólicos, realizando un control basal y post-esfuerzo, de algunos parámetros energéticos.

METABOLISMO HIDROCARBONADO

a) Glucemia.
b) Insulina
c) Glucagón
d) ac. lactico

METABOLISMO LIPIDICO

a) Colesterol
b) Ac. Grasos
c) Trigliceridos
d) HDL-COL
e) LDL-COL

CINETICA HORMONAL

a) ACTH
b) HGH
c) SOMATOMEDINA-C

PARTE I .-

ADAPTACION CARDIOVASCULAR DE UN GRUPO DE ADULTOS SANOS A UN PROTOCOLO DE EJERCICIO FISICO INTERMITENTE.

El protocolo aplicado se lleva a cabo sobre una bicicleta ergométrica de freno mecánico y conlleva una serie de 6 periodos de actividad física intermitente con cargas crecientes de 25, 50, 75, 100, 125 y 150 W, siendo las pausas entre cada pallier de 60 segundos de duración.

Como se aprecia en la Figura tras el comienzo del ejercicio se produce un incremento significativo de la frecuencia cardiaca que tras la pausa desciende hacia los valores normales de reposo, aunque sin llegar a alcanzarlos.
Estos cambios de ascenso y posterior descenso de la FC se van produciendo en cada uno de los palliers de actividad física, si bien la FC que se va obteniendo cada vez es mayor.

De la misma forma los valores de FC que se alcanzan tras el minuto de descanso van quedando cada vez más distanciadas de la frecuencia cardiaca inicial, haciéndose las diferencias estadísticamente significativas ya en el segundo palier del ejercicio.

La máxima Frecuencia Cardiaca tanto en ejercicio como en reposo se produce en el último pallier; al finalizar el protocolo, trás el rápido descenso inicial del primer minuto, se produce una progresiva disminucion hasta alcanzar los niveles de reposo, lo que ocurre al cabo de 8 minutos despues de la finalización del ejercicio.

FIGURA **12** .-

Evolución de la FC en el total de sujetos estudiados (31 adultos varones sanos) a lo largo del protocolo de ejercicio físico a que han sido sometidos.

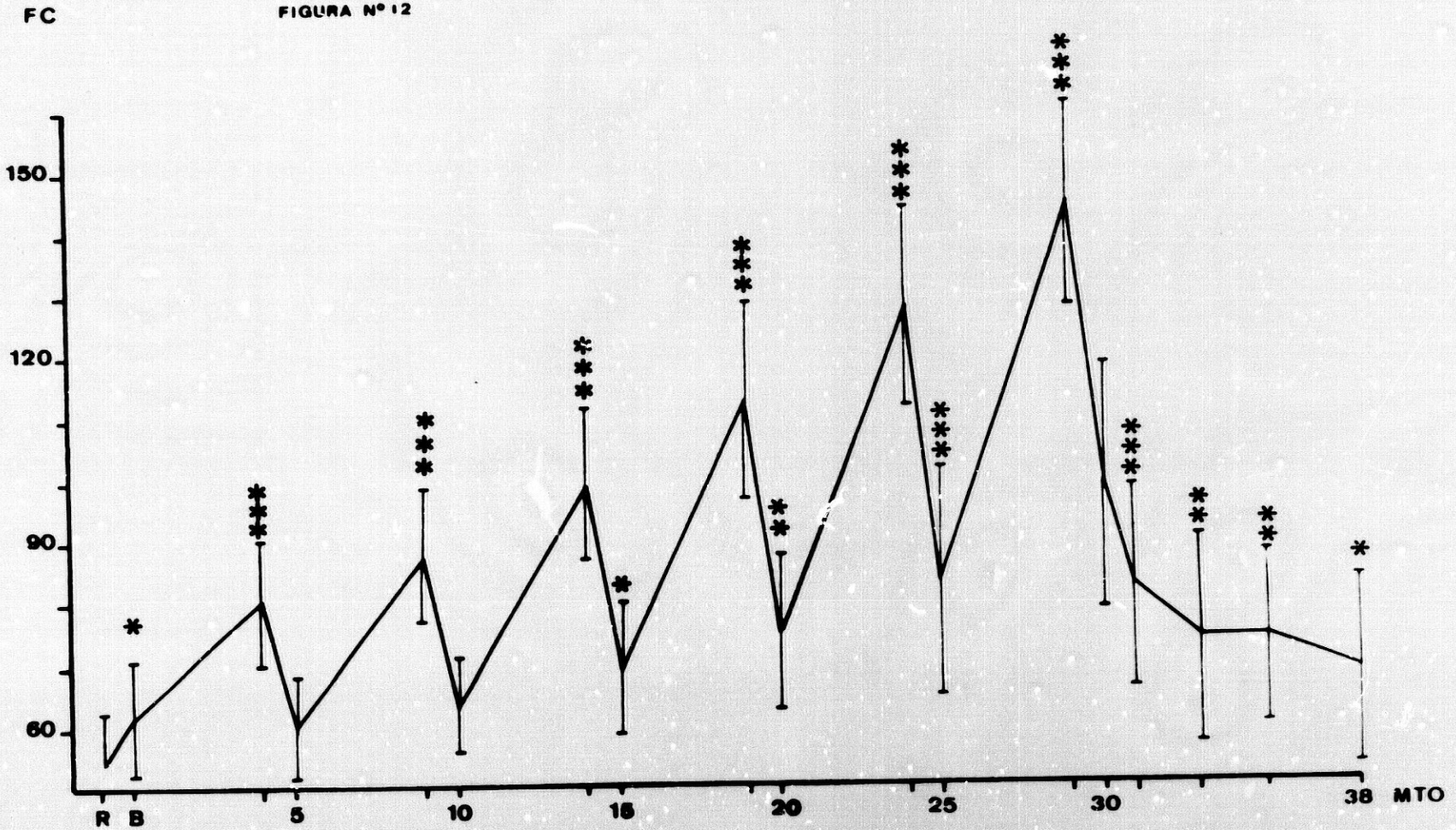
Antes de comenzar el ejercicio se les hicieron dos mediciones de FC, una en posición decúbito (R) y otra una vez subido en el cicloergómetro (B).

Las significaciones estadísticas obtenidas al comparar la FC al final de los periodos de ejercicio y reposo con los valores basales, se indican como:

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

Los resultados se expresan como media ± SD .

FIGURA Nº 12



La Tension arterial sigue un comportamiento diferente segun se trate de la Tension Sistolica o Diastolica. Mientras que en la primera se va produciendo un incremento paulatino tras cada pallier de ejercicio, alcanzandose los maximos niveles en el 4º y 5º pallier, no sufriendo a continuacion mayores incrementos, la TA Diastólica, por el contrario, presenta un lento pero mantenido descenso que se ve acentuado en los últimos palliers de ejercicio.

Al comparar la TA Sistólica con la Diastólica en cada momento con la TA basal, se obtienen diferencias estadisticamente significativas en el tercer pallier para la TA Sistólica y en el segundo pallier para la TA Diastólica.

En los minutos de inactividad que siguen al último pallier de ejercicio se produce tanto en la TA sistólica como en la diastólica un ráopido retorno a los valores que había antes de comenzar el ejercicio, siendo totalmente equiparables tan solo cinco minutos despues de haber finalizado el ejercicio.

FIGURA 13 .-

Evolución de la Tensión arterial sistólica y diastólica a lo largo del protocolo de ejercicio físico en el total de sujetos estudiados (n = 31).
La toma de TA se realizó con el sujeto sobre la bicicleta inmediatamente despues de que hubieran finalizado los cuatro minutos de trabajo de cada pallier. Al finalizar el protocolo se repitio la toma a los 3 y 5 minutos.

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$ *** $p < 0.001$, comparando con los valores registrados antes de comenzar el ejercicio. Los resultados se expresan como media ± SD.

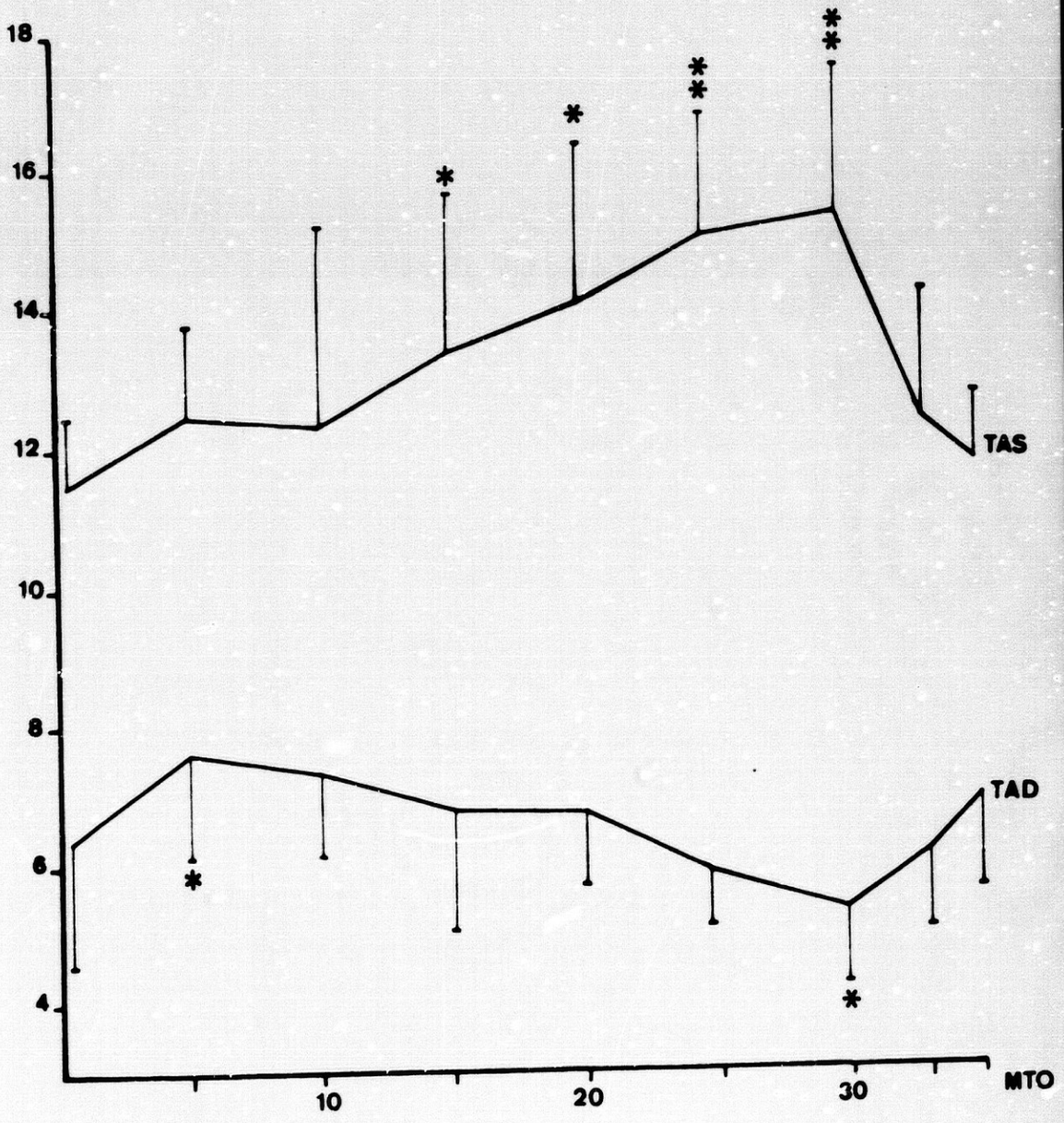


FIGURA Nº 13

El "doble producto" de la tension arterial sistolica por la frecuencia cardiaca o ISTI, que es un indice considerado como muy demostrativo del grado de sobrecarga a que se somete al corazon durante el ejercicio fisico y lo que es igual a una medidqa indirecta del consumo de oxigeno miocardico, muestra un ascenso progresivo conforme se va desarrollando el ejercicio fisico. El incremento se hace significativo a partir del segundo pallier de trabajo, para volver al valor basal nada más terminar el ejercicio (3 minutos).

FIGURA 14 .-

Cambios del ISTT durante el ejercicio fisico en el total de sujetos esrtudiados (n = 31).

Cuando se compara cada punto con el valor que cada individuo tenía antes de comenzar el ejercicio (B) la significacion estadistica que se alcanza es :

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$ *** $p < 0.001$.

Los resultados se expresan en valores de media ± SD.

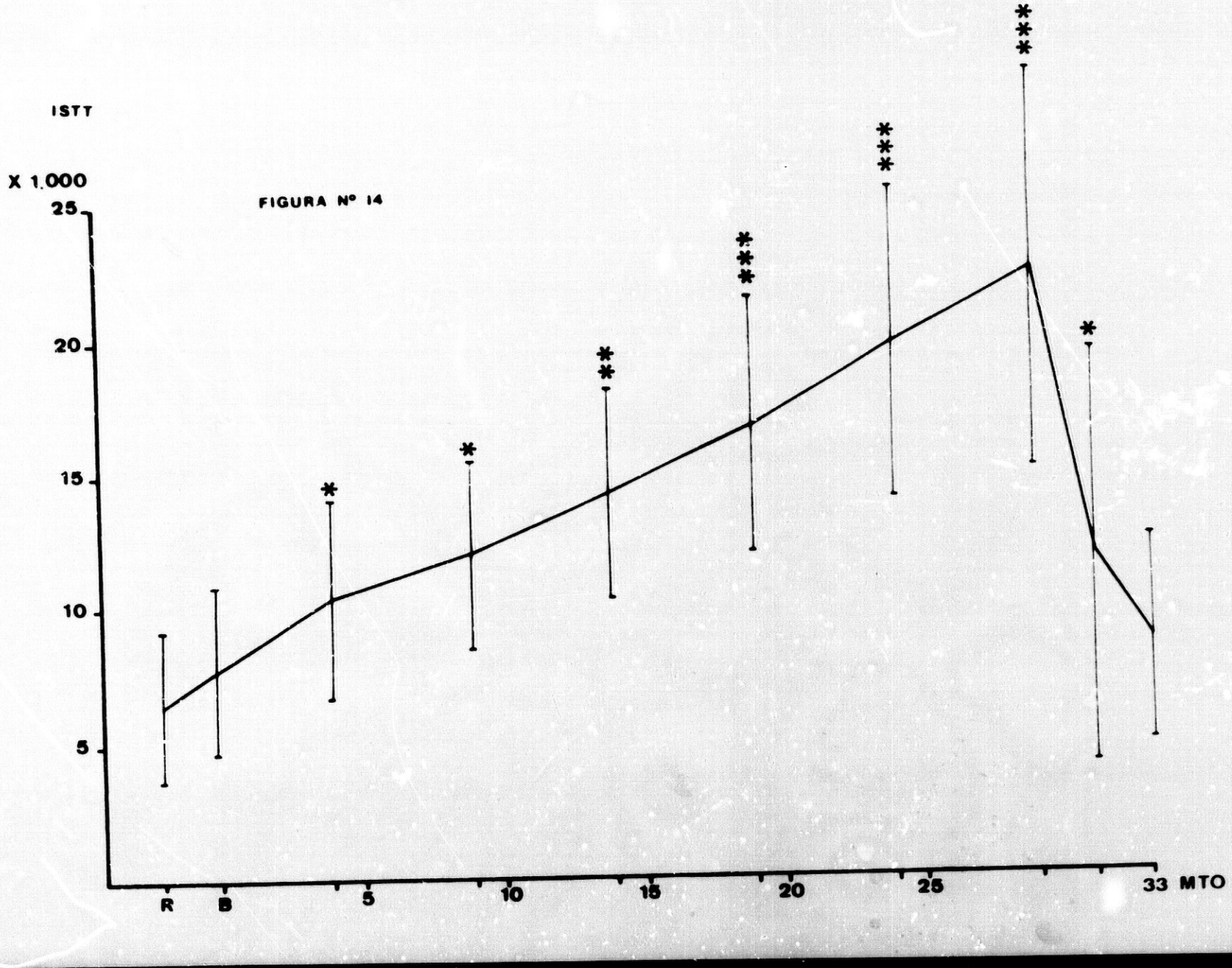


FIGURA Nº 14

En el grupo de sujetos estudiados, el consumo de Oxigeno maximo ($\dot{V}O_{2\,max}$) ha sido determinado a partir de la formula de SJoSTRAND en funcion del trabajo capaz de desarrollar a una frecuencia cardiaca determinada.

El umbral aerobico promedio del grupo de sujetos se ha calculado a partir de punto primero de ruptura en la relación lineal existente entre la FC y los sucesivas incrementos de carga de cada pallier. Dicho punto traduce un cambio metabólico, supuestamente relacionado con la completa adaptación orgánica a la producción de energía por la vía aeróbica.

La capacidad de trabajo a 170 pulsaciones (PWC 170) ha sido establecida para determinar las posibilidades del trabajo submáximo, extrapolando a partir de la relación lineal existente entre FC y trabajo, no siendo necesario levar al sujeto hasta dicha frecuencia, pero sí a un valor próximo que sea superior al primer punto de ruptura (umbral aeróbico).

La posibilidad de trabajo de un individuo está condicionada por su masa corporal, que engloba tanto masa magra o muscular como masa grasa, siendo en unos casos un lastre, y en otros una fuente mayor de producción de energía. Es por esto que las capacidades de trabajo se expresan en W / Kg de peso corporal, siendo ésta cifra más acorde con la capacidad real de un individuo que la expresada de forma absoluta.

Los valores de cada uno de estos parametros quedan reflejados en la TABLA Nº 4 .

Consumo de Oxigeno Maximo (VO2 max), Umbral Aeróbico (UA) Capacidad de Trabajo a 170 pulsaciones (CT 170) y trabajo desarrollado por Kg de peso corporal total (W/Kg).

TABLA 4

PARAMETROS FUNCIONALES

n = 31	SUPERFICIE	ALTITUD	%
$VO_{2\ max}$	46.5 ± 5	43.4 ± 2.7	- 6.7
UA	105.3 ± 14.2	110.4 ± 13.3	+ 4.8
$CT_{1/2}$	193.2 ± 34.1	166.4 ± 34.7	- 11.4
W/Kg	2.78 ± 0.5	2.42 ± 0.4	- 16

Como cabía esperar el consumo de oxígeno esta significativamente disminuido en altitud, mientras que el umbral aeróbico esta significativamente elevado.

Todo ello condiciona que la capacidad de trabajo a 170 pulsaciones sea menor en altitud y de la misma forma es tambien menor el trabajo desarrollado por Kg de peso corporal total.

FIGURA 15 .-

Consumo de Oxígeno ($VO_{2\ max}$), Umbral Aeróbico (UA), Capacidad de Trabajo a 170 (CT_{170}) y trabajo desarrollado por Kg de peso corporal total (W/Kg), en el TOTAL de sujetos estudiados realizando el protocolo de ejercicio físico en superficie o en altitud.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

TOTALES

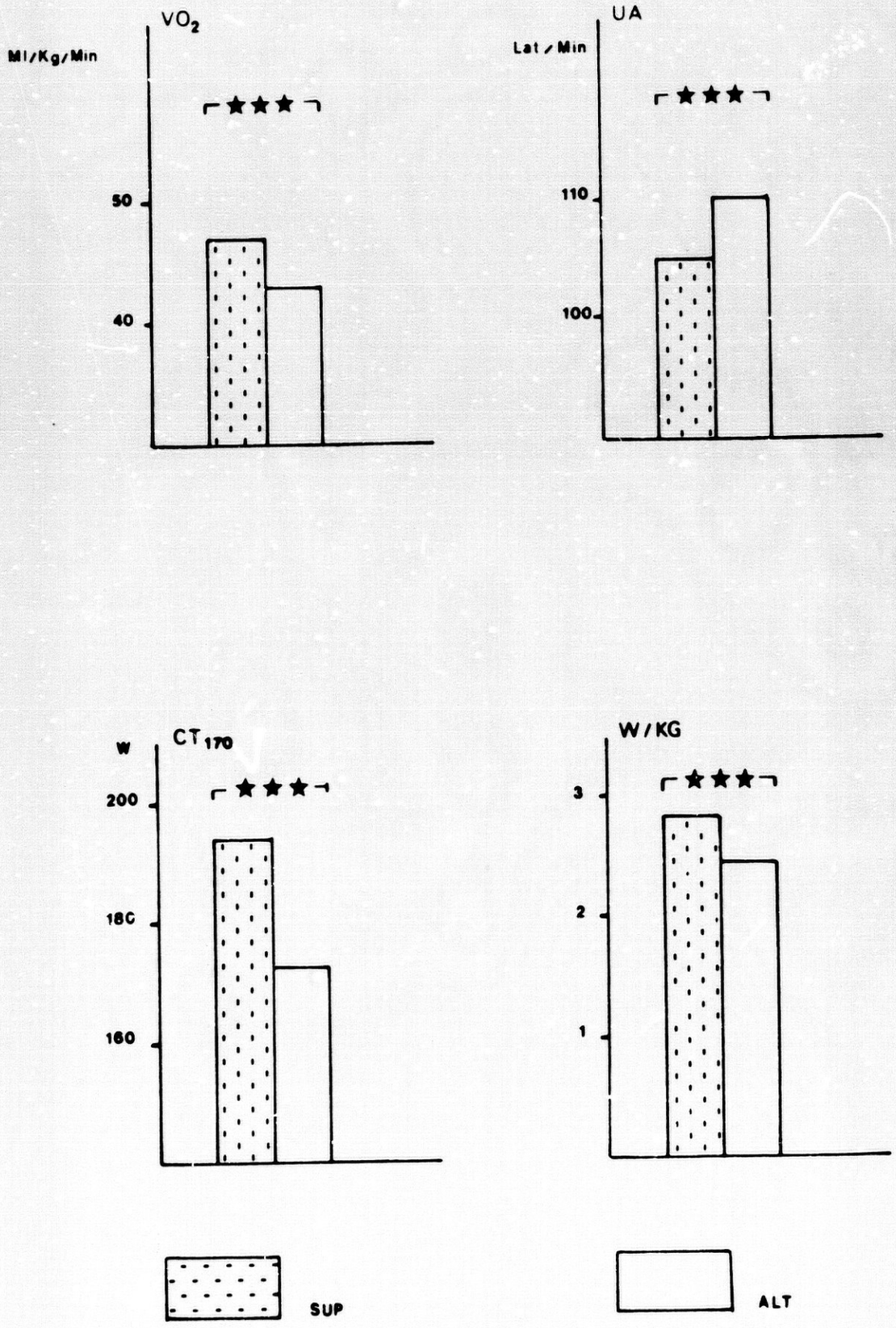


FIG. Nº 15

PARTE II .-

ADAPTACION CARDIOVASCULAR AL EJERCICIO FISICO

EN SUPERFICIE Y ALTITUD .-

Cuando se compara la evolucion de la frecuencia cardiaca a lo largo del protocolo de ejercicio fisico en los sujetos estudiados, segun hayan realizado el protocolo en la altura habitual (superficie) o en alta altitud (altitud) se observa que en esta segunda circunstancia la FC es significativamente más elevada que en superficie, tanto en situación basal como tras cada nivel de trabajo intermitente y su correspondiente minuto de recuperación.

Una vez finalizado el periodo de ejercicio los niveles de FC permanecen algo más elevados en altitud en comparación con los que se alcanzan en superficie.

FIGURA 16 .-

Evolución de la FC a lo largo del protocolo realizado en altitud (Alt) o en superficie (Sup) comparando los valores obtenidos en ambas situaciones las diferencias son estadísticamente significativas :

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

En la parte superior de la figura se representa mediante barras los incrementos en % de los valores de FC que se producen en cada punto del protocolo, como consecuencia de realizarlo en altitud. A pesar de que en todos los puntos las diferencias son significativas estadisticamente, el mayor valor de FC en altitud se mantiene constantemente en la fase de recuperación.

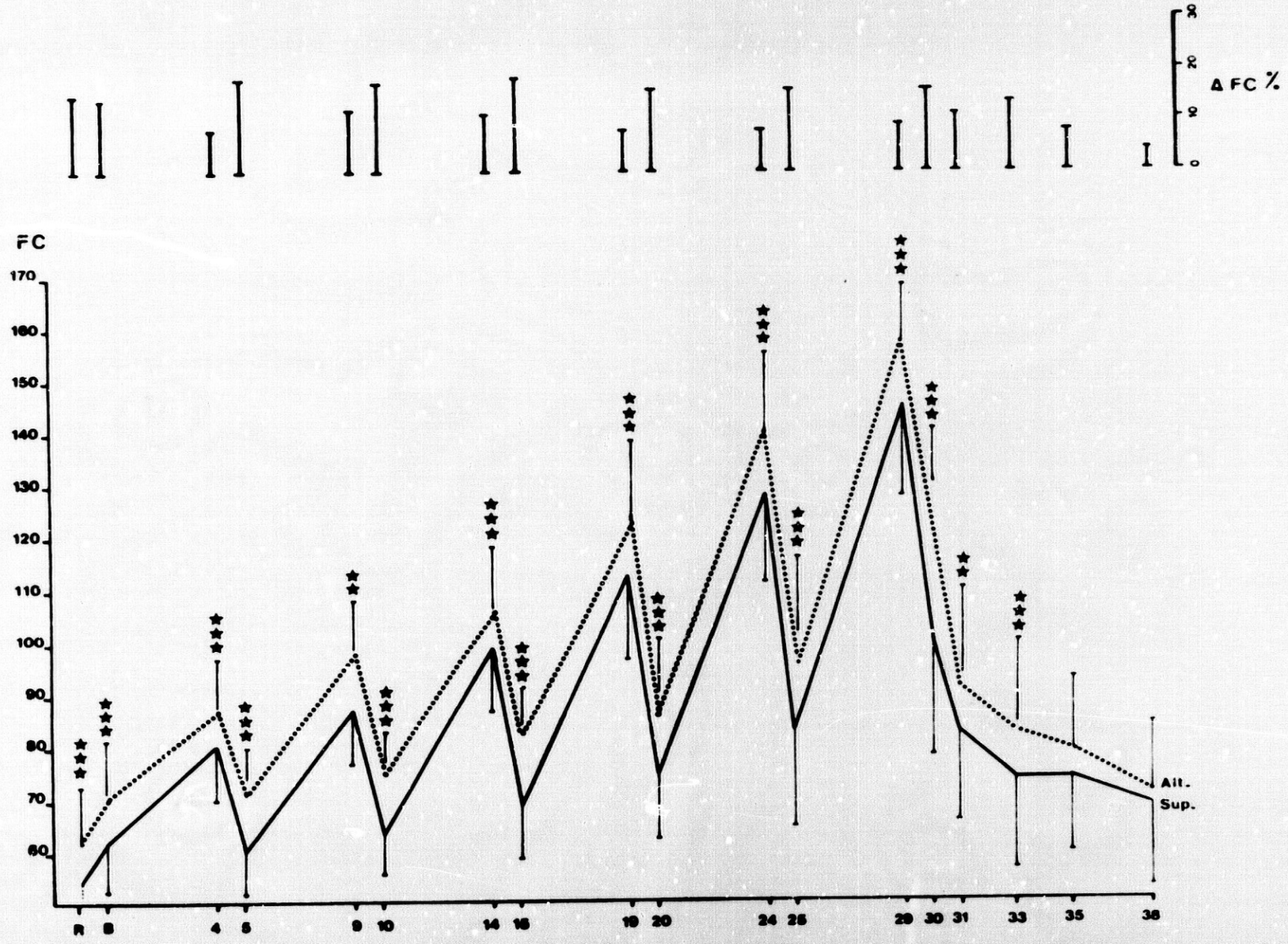
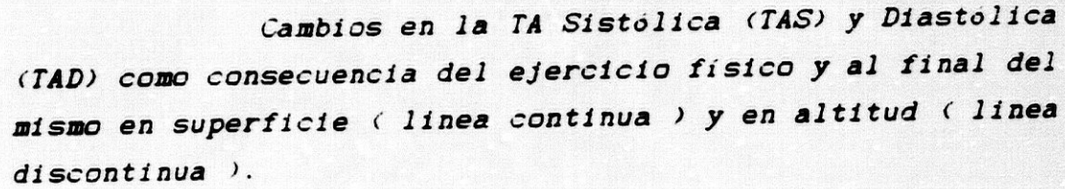

Δ FC %
FC
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
R
B
4
5
9
10
14
16
19
20
24
25
29
30
31
33
35
38
Alt.
Sup.

FIGURA Nº 16

La altitud no parece influenciar los cambios que se producen en las TA sistólica y diastólica tras el ejercicio, tal como se aprecia en la Figura **17** .

FIGURA **17** .-



Cambios en la TA Sistólica (TAS) y Diastólica (TAD) como consecuencia del ejercicio físico y al final del mismo en superficie (linea continua) y en altitud (linea discontinua).

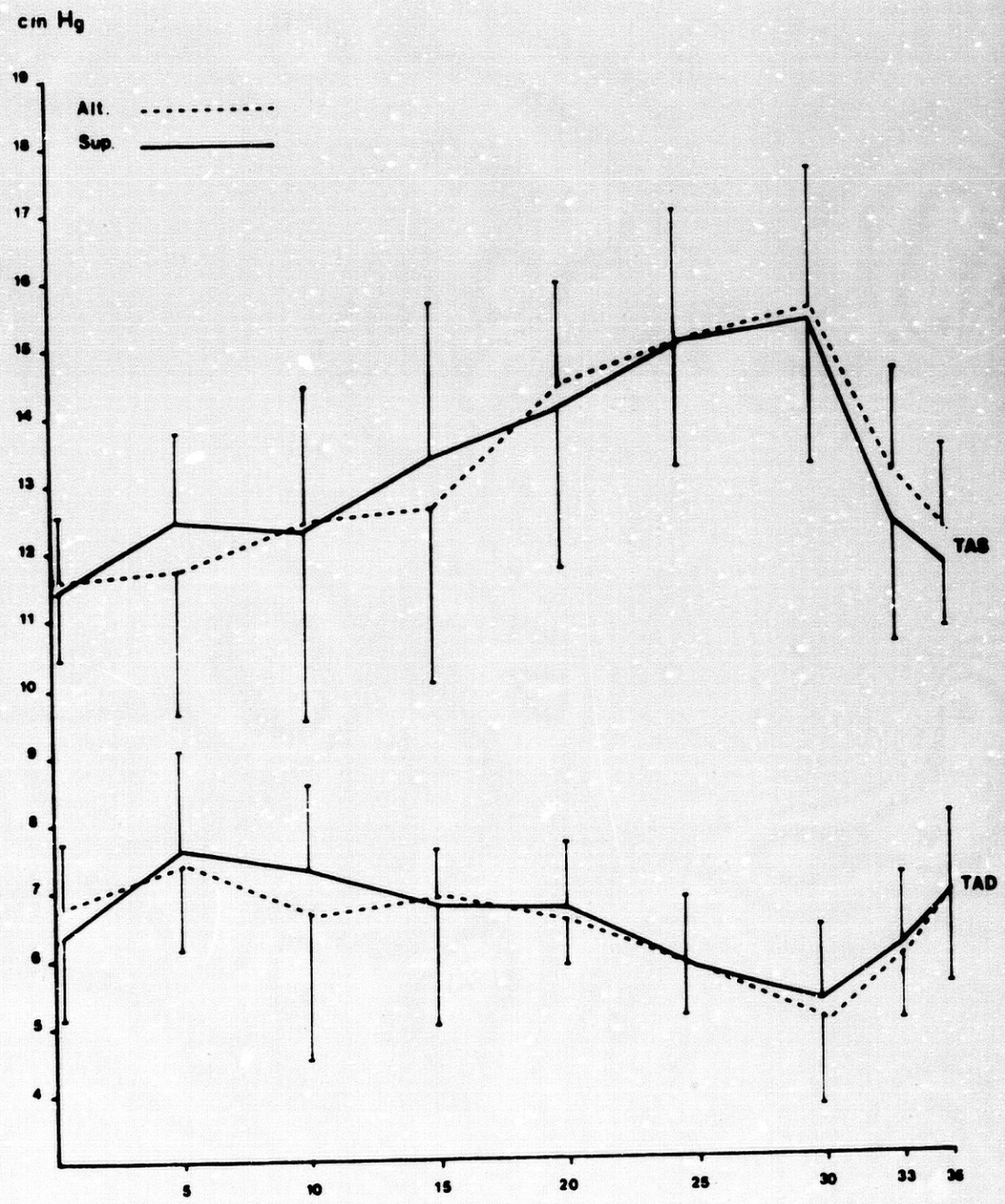

cm Hg
Alt.
Sup.
TAS
TAD
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
5
10
15
20
25
30
33
36

FIGURA Nº 17

El doble producto de la TA Sistolica por la FC de trabajo para cada pallier tampoco aparece influenciado por la altitud, si bien en reposo si se objetiva una minima pero estadisticamente significativa diferencia entre superficie y altitud, siendo mayor en ésta última situación.

FIGURA 18 .-

ISTT (doble producto) en el total de sujetos estudiados habiendo realizado el protocolo en superficie (linea continua) y en altitud (linea discontinua).

* $p < 0.05$.

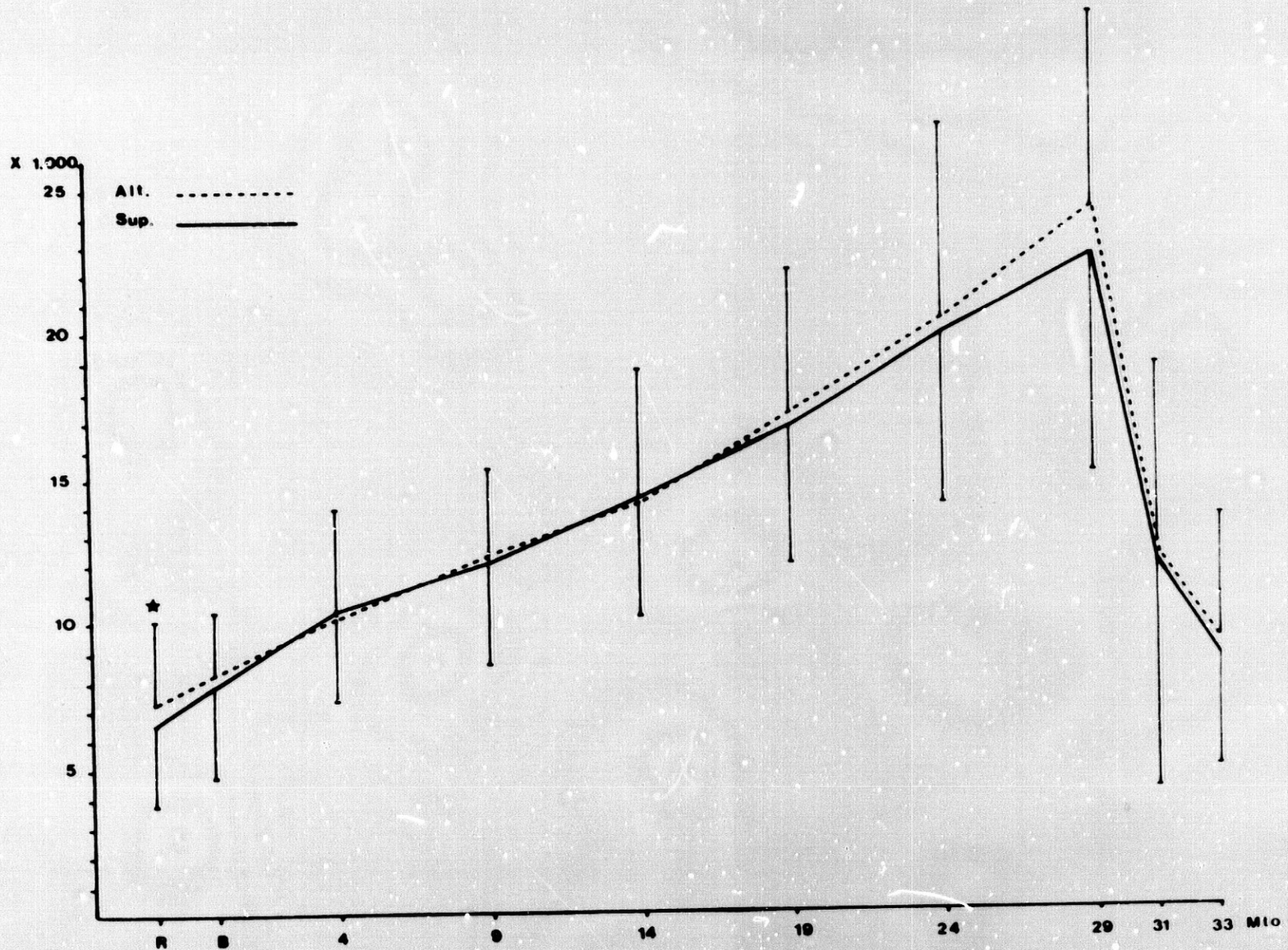


FIGURA Nº 15

PARTE III .-

CAMBIOS HEMATOLOGICOS Y METABOLICOS QUE SE PRODUCEN COMO CONSECUENCIA DEL EJERCICIO FISICO EN SUPERFICIE Y ALTITUD.

Respecto a los parámetros hematológicos evaluados: hematíes, leucocitos, hemoglobina y valor hematocrito, se aprecia un incremento notable en todos ellos tras el ejercicio, no existiendo diferencias significativas respecto a ese incremento ni respecto a los valores absolutos como consecuencia de que el ejercicio físico se realice en superficie o en altitud.

FIGURA 19 .-

Número de hematíes, leucocitos, valor hematocrito y hemoglobina en el TOTAL de sujetos estudiados entre antes y despues de realizar el protocolo de ejercicio físico en superficie (circulos llenos •) o en altitud (circulos vacios •).

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.
Los resultados se expresan como media ± SEM .

TABLA 5

	SUPERFICIE		ALTITUD	
	antes	despues	antes	despues
LEUCOCITOS (**)	5.98±1.8	6.42±2.4	5.27±1.4	6.23±2.2
HEMATIES (*)	5.05±0.07	5.32±0.07	5± 0.06	5.22±0.07
HEMATOCRITO	44.5±3.35	46.4±3.32	45.47±2.7	47.02±2.64
HEMOGLOBINA	14.8±2.6	16.13±0.86	15.7±0.8	16.18±0.79

(*) : unidades x 10^6
(**) : " x 10^3

TOTALES

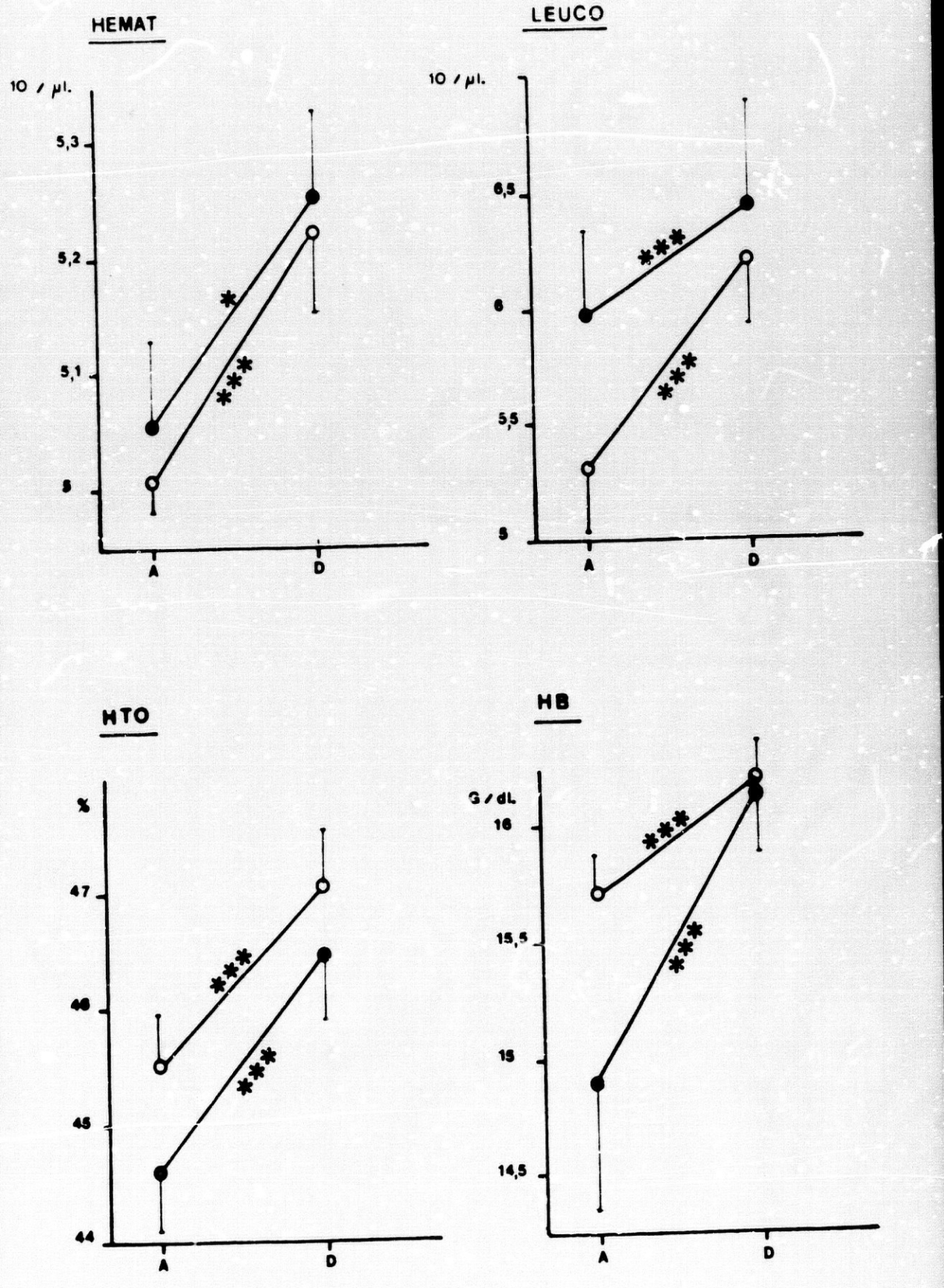


FIGURA Nº 19

V .-

ADAPTACION CARDIOVASCULAR, HEMATOLOGICA Y METABOLICA AL EJERCICIO FISICO EN SUPERFICIE Y ALTITUD EN FUNCION DEL GRADO DE ENTRENAMIENTO PREVIO DE LOS SUJETOS ESTUDIADOS.

En base a una detallada anamnesis de actividad física el grupo de sujetos estudiado ha podido dividirse en dos subgrupos que podrían catalogarse como sedentarios y deportistas.

Las características somáticas de uno y otro grupo se presentan en la TABLA 6 . Como se aprecia no existen diferencias entre uno y otro grupo a excepción de un mayor predominio del porcentaje de grasa corporal en el grupo de sedentarios, que se manifiesta fundamentalmente por un mayor depósito a nivel paraumbilical (mayor grosor del pliegue cutáneo en ese nivel).

TABLA 6 .-

Características somáticas de los sujetos cuando se agrupan según el grado de actividad física en sedentarios o deportistas.

Los resultados se expresan en media ± SEM.

TABLA Nº 6

	SED (n = 10)	DEP (n = 21)
	$\bar{x}$ ± σ	$\bar{x}$ ± σ
Edad	26,00 ± 4,80	22,00 ± 2,10
Talla	175,60 ± 6,80	177,2 ± 5,80
Peso	68,10 ± 4,90	70,80 ± 5,30
% Grasa	13,05 ± 1,70	10,79 ± 1,30
CVR	4.710,00 ± 470	4.919,00 ± 553
VEMS	4.120,00 ± 538	4.542,00 ± 459
TIF	87,50 ± 8,07	92,36 ± 4,04
FCb	59,70 ± 7,04	53,00 ± 7,95
TAS	114,00 ± 9,90	117,60 ± 8,71
TAD	71,10 ± 7,80	63,60 ± 11,02
TAM	92,50 ± 7,20	88,50 ± 8,62

Cuando se comparan las evoluciones de las frecuencias cardiacas durante el ejercicio físico realizado en superficie por el grupo de sedentarios y deportistas, se aprecia como, a pesar de que la FC de reposo es ligera pero significativamente menor en los deportistas al comenzar el ejercicio, en los dos grupos se van alcanzando valores similares. Sin embargo la recuperacion es mayor en los deportistas.

A partir del tercer pallier de actividad física la FC en los sedentarios alcanza valores significativamente más elevados que en los deportistas y la recuperación en aquellos es tambien bastante peor.

Estas diferencias en la recuperación se ponen especialmente de manifiesto en los momentos de reposo con los que se finaliza el protocolo de trabajo.

De nuevo aqui, y en la parte inferior de la figura vemos que comparando un grupo con otro, la diferencia percentual más grande se da durante el periodo de recuperación, o minuto de inactividad que sigue a los cuatro minutos de ejercicio de cada pallier.

FIGURA 20 .-

Evolución de la frecuencia cardiaca (FC) a lo largo del protocolo de ejercicio físico en los subgrupos de sedentarios (n = 10) y deportistas (n = 21) estudiados.
Las diferencias estadísticamente significativas se representan mediante :

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

En la parte superior se indica el incremento percentual de la frecuencia de un grupo con respecto al otro en los distintos puntos.

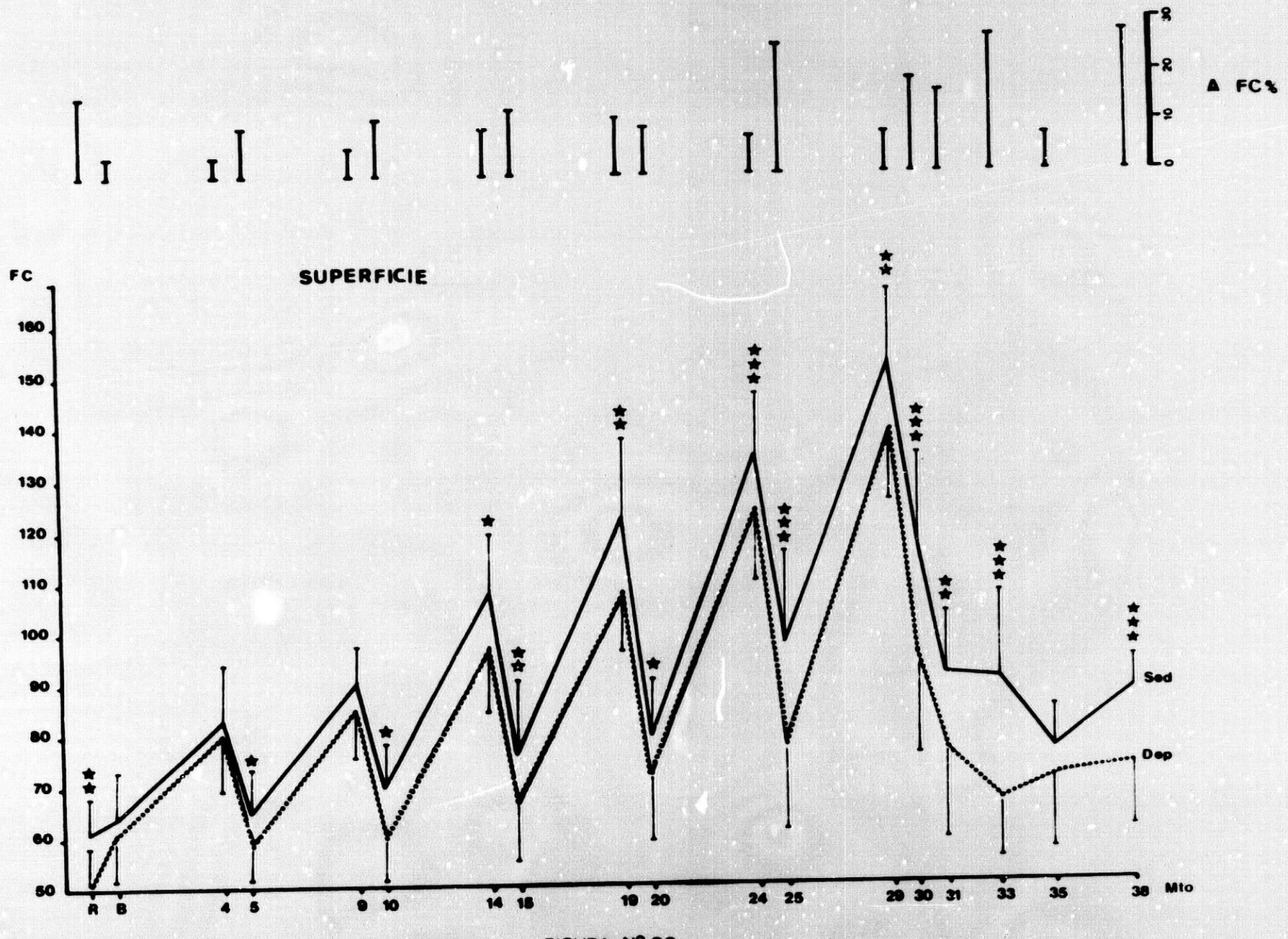

Δ FC%
FC
SUPERFICIE
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
Sed
Dep
R
B
4
5
9
10
14
15
19
20
24
25
29
30
31
33
35
38
Mto

FIGURA Nº 20

Cuando el mismo tipo de ejercicio físico es realizado por ambos grupos en altitud, se aprecia que aunque en un principio las frecuencias son similares, conforme se va desarrollando el protocolo, los sedentarios van alcanzando frecuencias significativamente más elevadas, tanto durante la actividad física como durante la recuperación, diferencias que se mantienen en los minutos que siguen al cese de la actividad física.

A diferencia de lo que ocurre en superficie, el incremento porcentual de frecuencia de un grupo con respecto a otro es similar al finalizar el ejercicio y en los periodos de recuperación.

FIGURA 21

Evolución de la Frecuencia Cardiaca (FC) a lo largo del protocolo de trabajo realizado en altitud por un grupo de sujetos sedentarios y otro de deportistas.

En la parte superior de la figura se presenta el incremento porcentual de FC de un grupo con respecto a otro en los distintos puntos del protocolo.

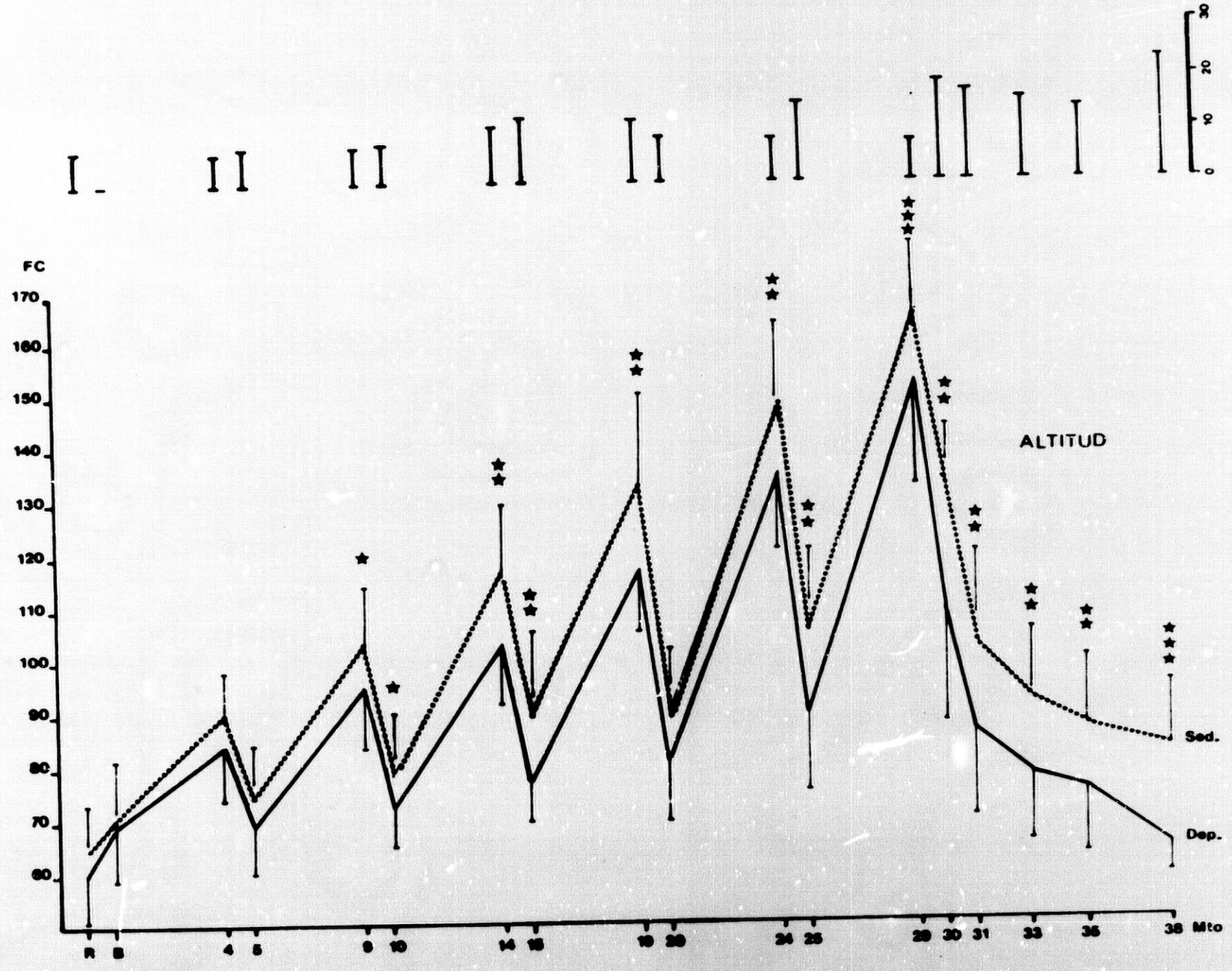

Δ FC %
FC
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
ALTITUD
Sed.
Dep.
R
B
4
5
9
10
14
15
19
20
24
25
29
30
31
33
36
38
Mto

FIGURA N° 21

Cuando se compara la evolucion de la frecuencia cardiaca en superficie y altitud en el grupo de sujetos sedentarios o deportistas, estudiados separadamente (FIGURAS 22 y 23) se aprecia como para uno y otro grupo, tanto en el periodo de actividad fisica (picos) como en el de recuperación (valles), la FC es significativamente mayor en altitud, viéndose más afectado en el grupo de deportistas la FC de recuperación.

Al estudiar el incremento de FC determinado por la altitud, en la parte superior de la figura, se aprecia de nuevo que mientras en el grupo de sedentarios tanto la FC de actividad como la de recuperación se ven igualmente afectadas.

En el grupo de deportistas es de mayor importancia el incremento que ocurre en el periodo de recuperación, lo que tambien explica la mayor dificultad que presentan los deportistas para recuperar los bajos niveles de FC que presentaban en situación basal.

FIGURAS 22 y 23.

Evolucion de la frecuencia cardiaca (FC) a lo largo del protocolo de ejercicio físico en superficie (linea continua) y en altitud (linea discontinua) para el grupo de sedentarios (n=10) y deportistas (n=21).

En la parte superior de la figura se aprecia el incremento percentual determinado por la altura en cada punto.

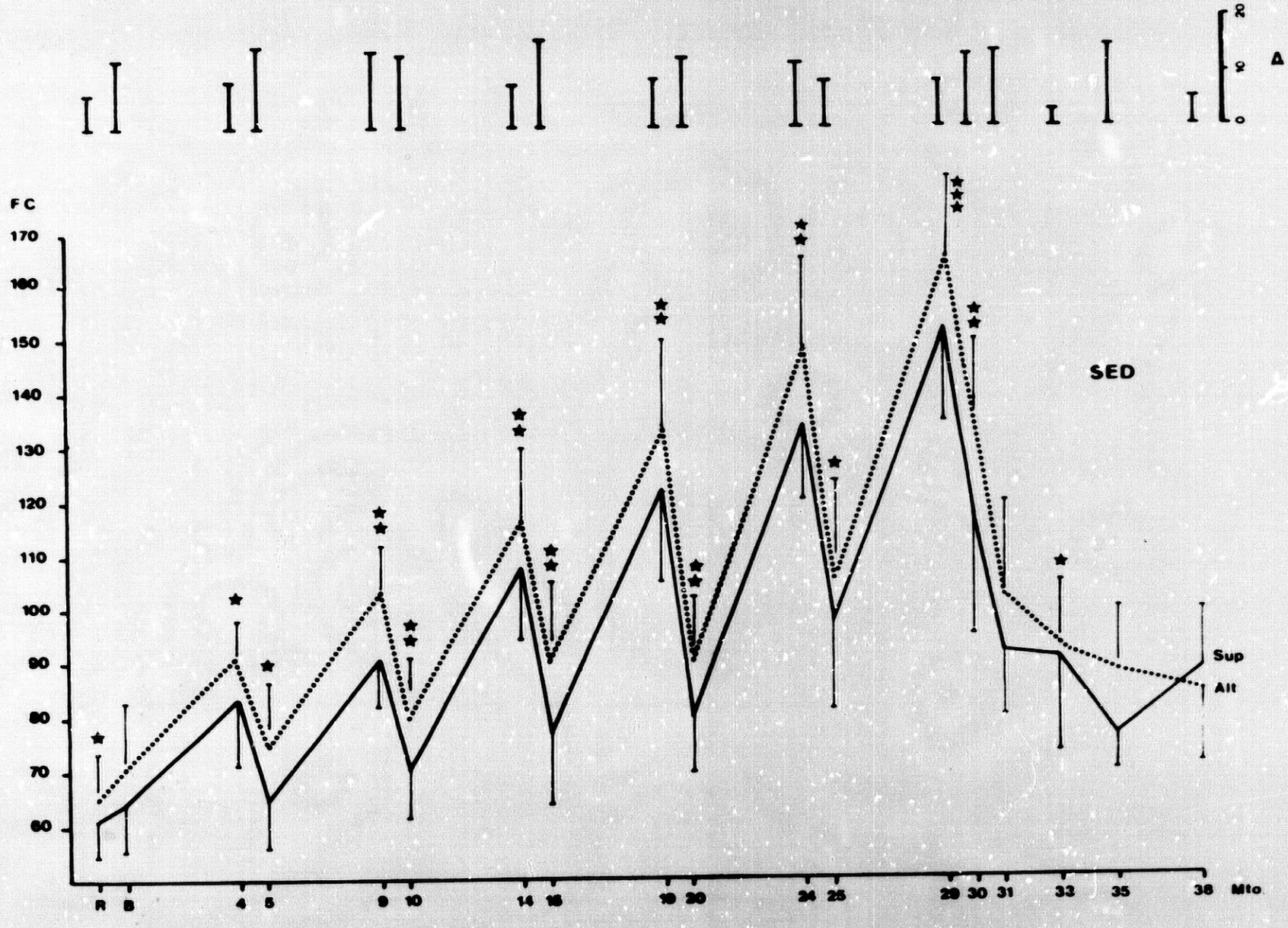

Δ FC%
FC
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
SED
Sup
Ait
R
B
4
5
9
10
14
15
19
20
24
25
29
30
31
33
35
38
Mto

FIGURA Nº 22

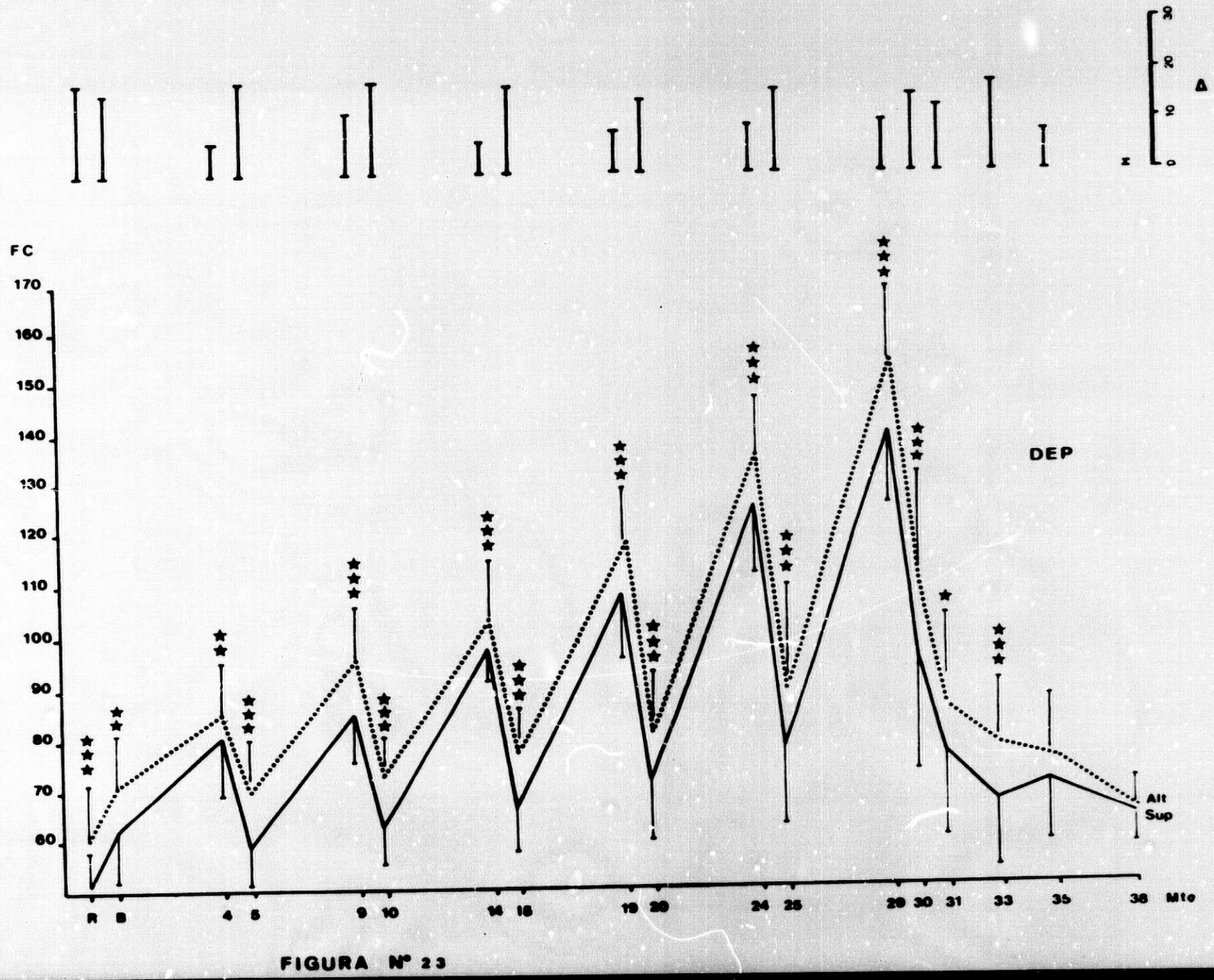

Δ FC %
FC
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
DEP
Alt
Sup
R
B
4
5
9
10
14
16
19
20
24
25
29
30
31
33
35
38
Mts

FIGURA Nº 23

En la Figura **24** se aprecian los cambios de Tension Arterial (T A) determinados por el ejercicio fisico realizado en superficie por el grupo de sujetos sedentarios y el de sujetos entrenados . Como se ve no existen diferencias con respecto a la evolución de la TA Sistólica, sin embargo la TA Diastólica que inicialmente es más baja en los deportistas, tras un pequeño incremento inicial en ambos grupos se produce una progresiva caida en los sedentarios conforme se va desarrollando el ejercicio, caida que se acentúa en la parte final del mismo.

Sin embargo, en los deportistas, la TA Diastólica se mantiene durante más tiempo para disminuir ligeramente al final del ejercicio, lo que determina una importante diferencia entre los dos grupos de sujetos, sobre todo en los últimos palliers de ejercicio fisico.

Una vez que los sujetos vuelven a la situación de reposo se produce un rápido retorno a los valores basales de TA diastólica en ambos grupos de sujetos.

FIGURA **24** .-

Cambios de Tensión Arterial Sistólica (TAS) y diastólica (TAD) durante la realización del protocolo de ejercicio en superficie por el grupo de sujetos sedentarios, (n=10 , trazo continuo) y deportistas (n= 21 , trazo discontinuo).

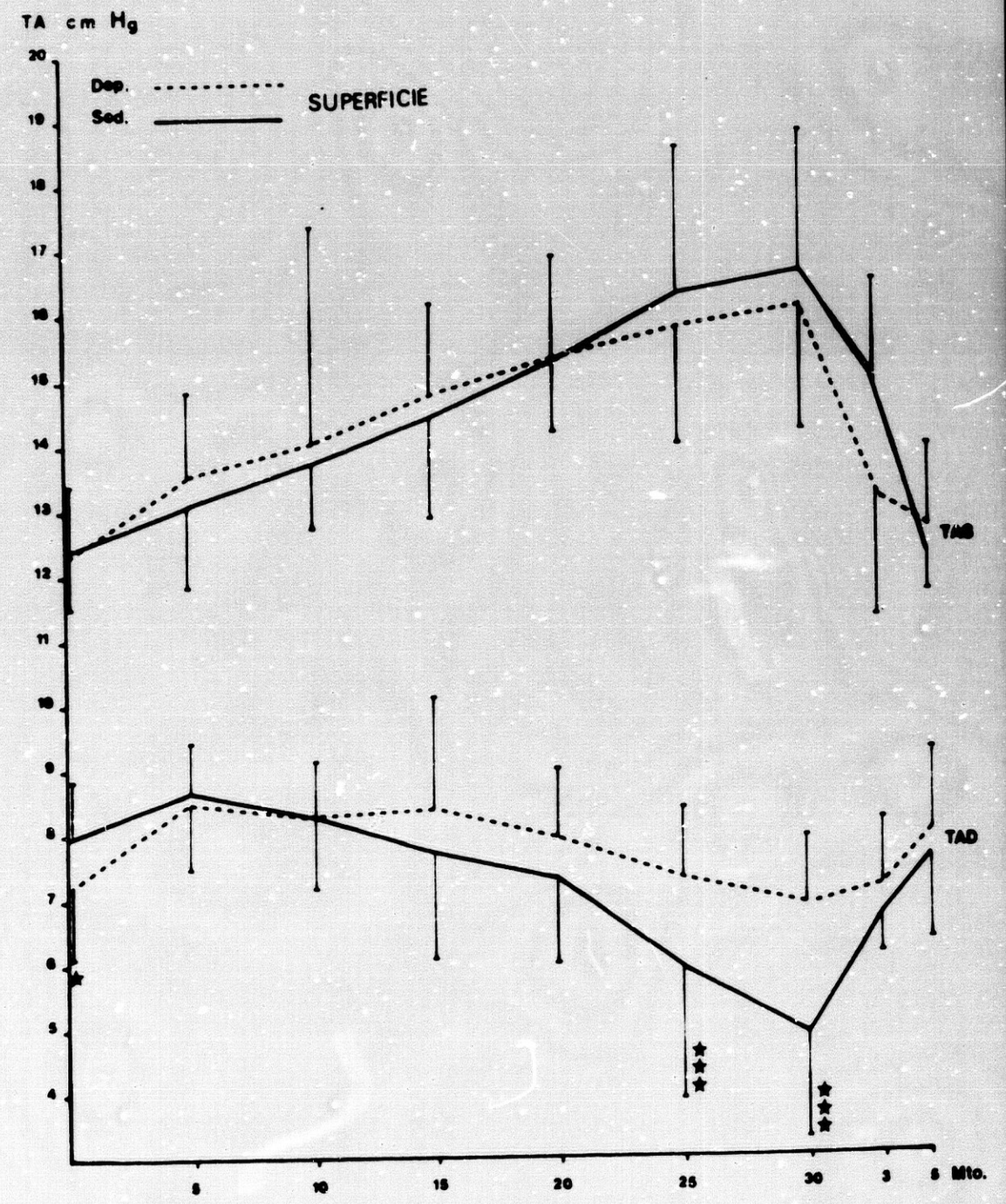


FIGURA Nº 24

Cuando el mismo protocolo de trabajo se aplica a ambos grupos de sujetos en altitud las diferencias son todavia mas marcadas y afectan tambien a la tensión arterial sistólica, cuyo incremento por efecto del ejercicio parece de alguna forma dificultado lo que determina diferencias estadisticamente significativas entre ambos grupos al inicio y al final del ejercicio

En lo que respecta a la TA Diastólica, ya desde el tercer pallier de ejercicio fisico aparecen diferencias significativas entre sedentarios y deportistas, diferencias que se mantienen incluso tras finalizar el ejercicio, y ello a pesar de que en altitud la disminución que sufre la TA Diastólica por efecto del ejercicio es más acusada que cuando ese mismo ejercicio se realiza en superficie, como se aprecia en la FIGURA 25 donde se compara para el grupo de deportistas la evoluciónde la TA en superficie y altitud, en donde se aprecia como en éste grupo de sujetos, el incremento de TA Sistólica no se ve afectado por la altitud, a pesar de partir de unos valores basales más elevados, mientras que la TA Diastólica, que parte de valores, ligera pero significativamente más elevados en altitud, desciende con más intensidad por efecto del ejercicio, si bien la recuperación tras el mismo es similar en las dos situaciones.

FIGURA 25 .- Cambios de TA sistólica (TAS) y diastólica (TAD) durante la realización del protocolo de ejercicio fisico en altitud, por el grupo de sujetos sedentarios (n=10, trazo continuo) y deportistas (n = 21, trazo discontinuo).

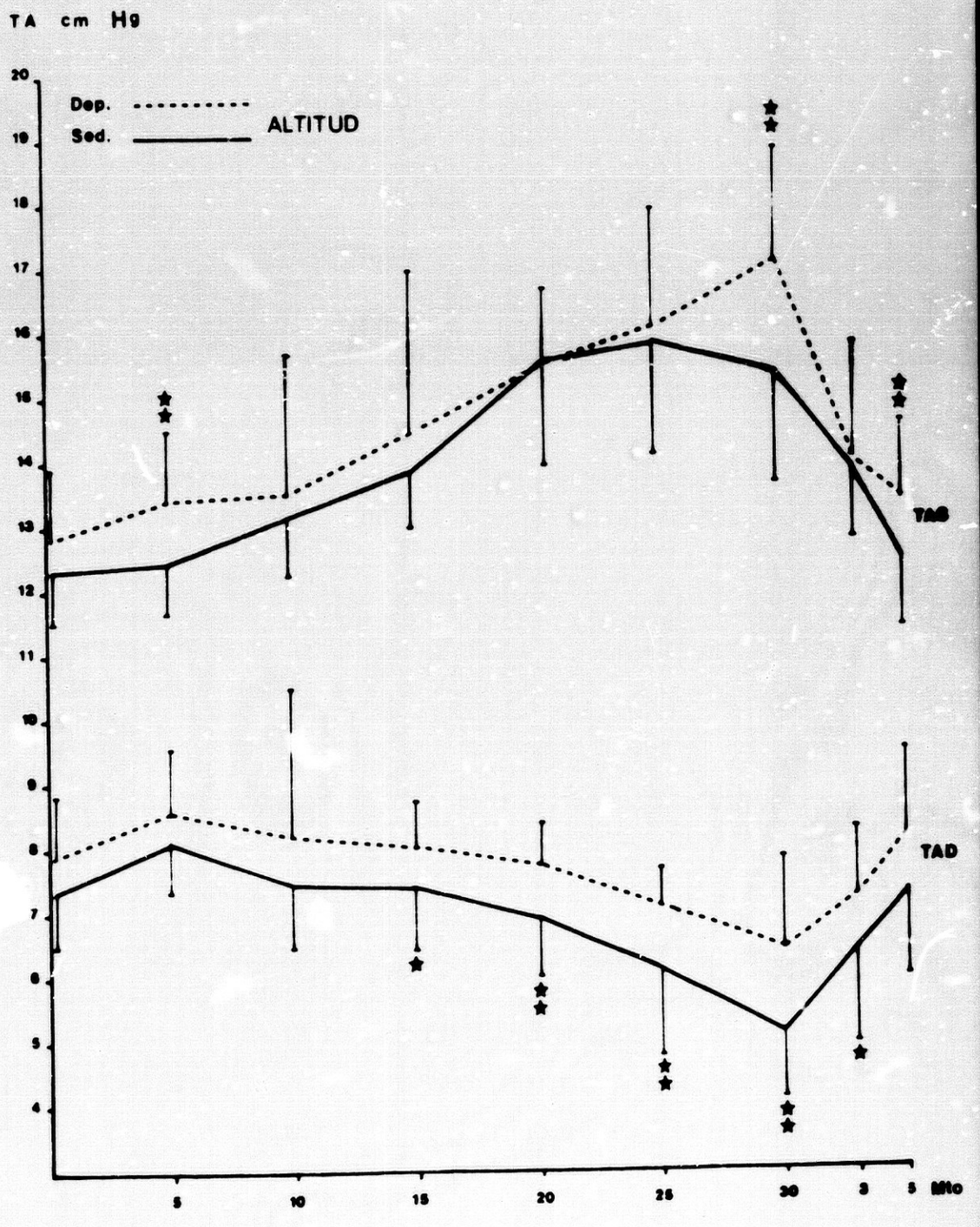


FIGURA N° 25

FIGURA **26** .-

Evolución de la TA Sistolica (TAS) y diastólica (TAD) en los sujetos deportistas (n = 21) cuando realizan el mismo protocolo de ejercicio físico en superficie (trazo continuo) y en altitud (trazo discontinuo).

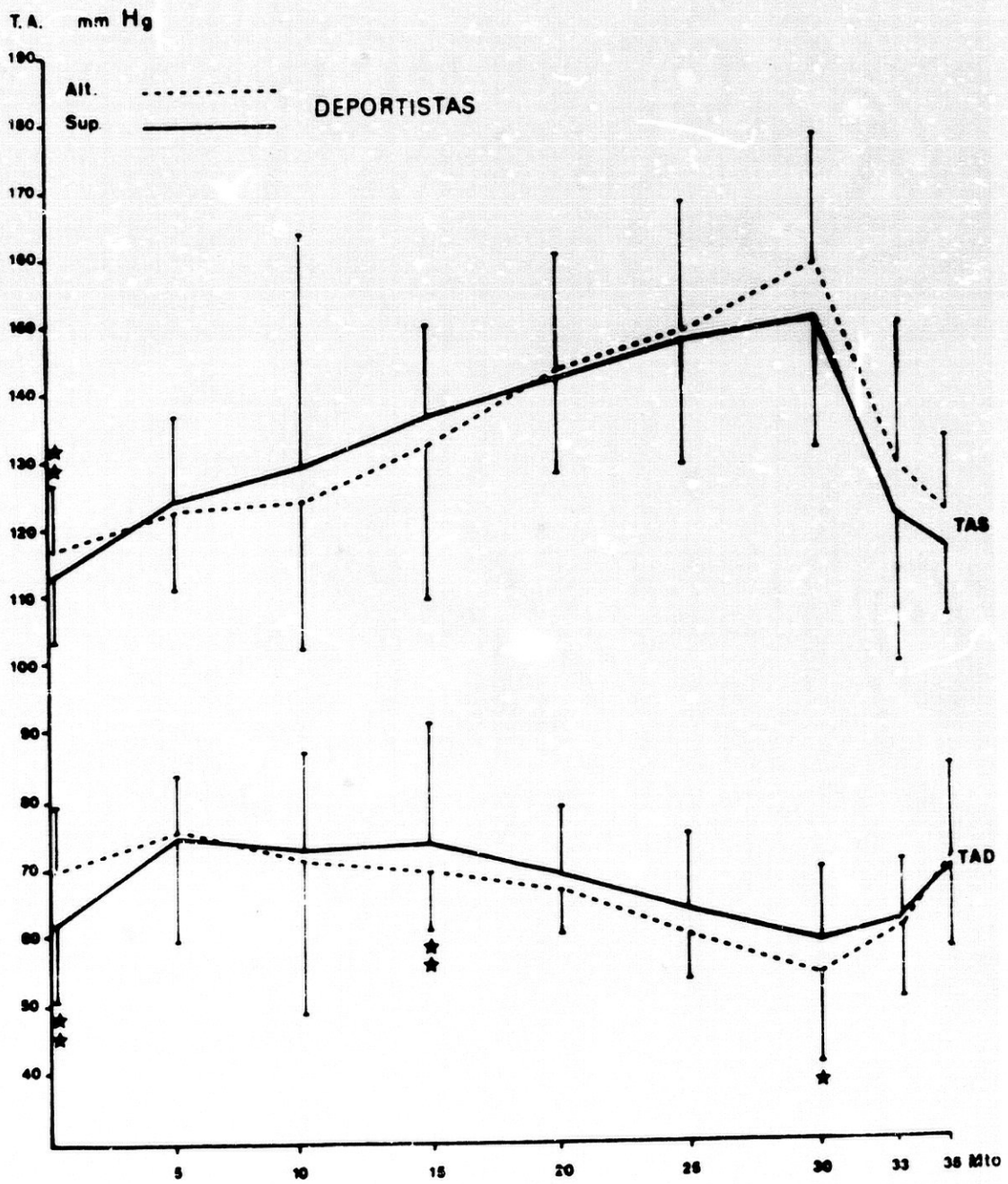

T. A. mm Hg
Alt.
Sup.
DEPORTISTAS
190
180
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
TAS
TAD
5
10
15
20
25
30
33
35 Mto

FIGURA N° 26

Cuando de la misma forma se compara la respuesta tensional al ejercicio en el grupo de sedentarios, se aprecia como en altitud no se alcanzan los niveles de TAS que se alcanzan en superficie, sobre todo al final del protocolo de ejercicio .

La tensión arterial diastólica en situación de reposo y para este grupo de sujetos estaba más baja en altitud que en superficie en las dos situaciones. Va descendiendo conforme va progresando el protocolo alcanzándose al final del mismo valores comparables en las dos situaciones.

TAS

TAD

FIGURA **27** .- *Evolución de la TA sistólica (TAS) y diastólica (TAD) en los sujetos sedentarios (n = 10) cuando realizan el mismo protocolo de ejercicio físico en superficie (trazo continuo) y en altitud (trazo discontinuo).*

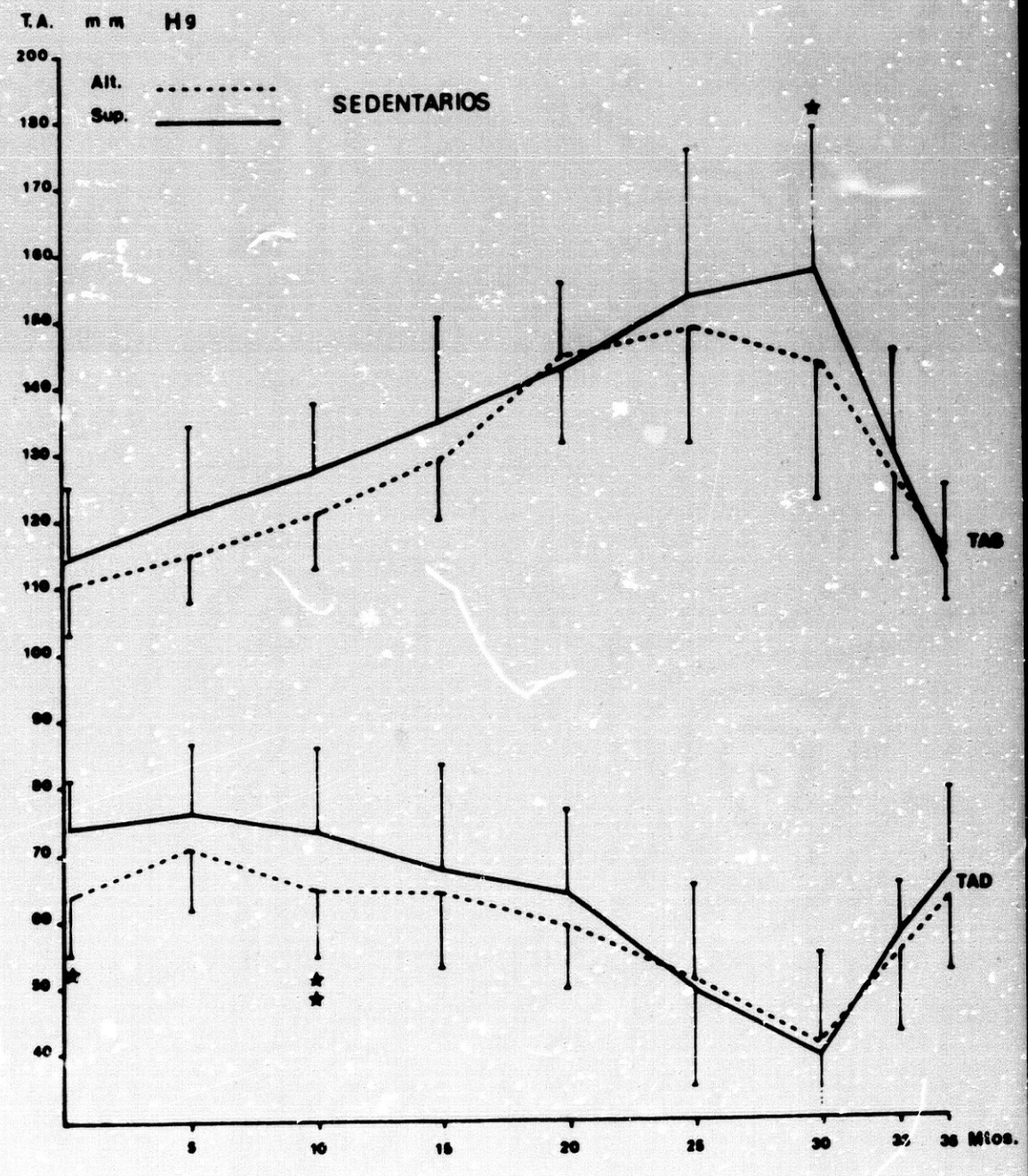

T.A. mm Hg
Alt.
Sup.
SEDENTARIOS
200
180
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
TAS
TAD
5
10
15
20
25
30
35
38 Mios.

FIGURA N 27

Multiplicando la TAS por la FC (doble producto o ISTT) se aprecia que aunque en un principio los incrementos que se producen en superficie son similares para los sedentarios y deportistas, al final del ejercicio los sedentarios presentan niveles significativamente superiores a los deportistas.

FIGURAS **28** *y* **29** .-

ISTT (producto de la TAS por la FC) en los diferentes palliers de ejercicio físico realizados en superficie (Fig. **28** *) y en altitud (Fig.* **29** *) por los sujetos sedentarios (n = 10, trazo continuo) y los sujetos deportistas (n = 21, trazo discontinuo) .*

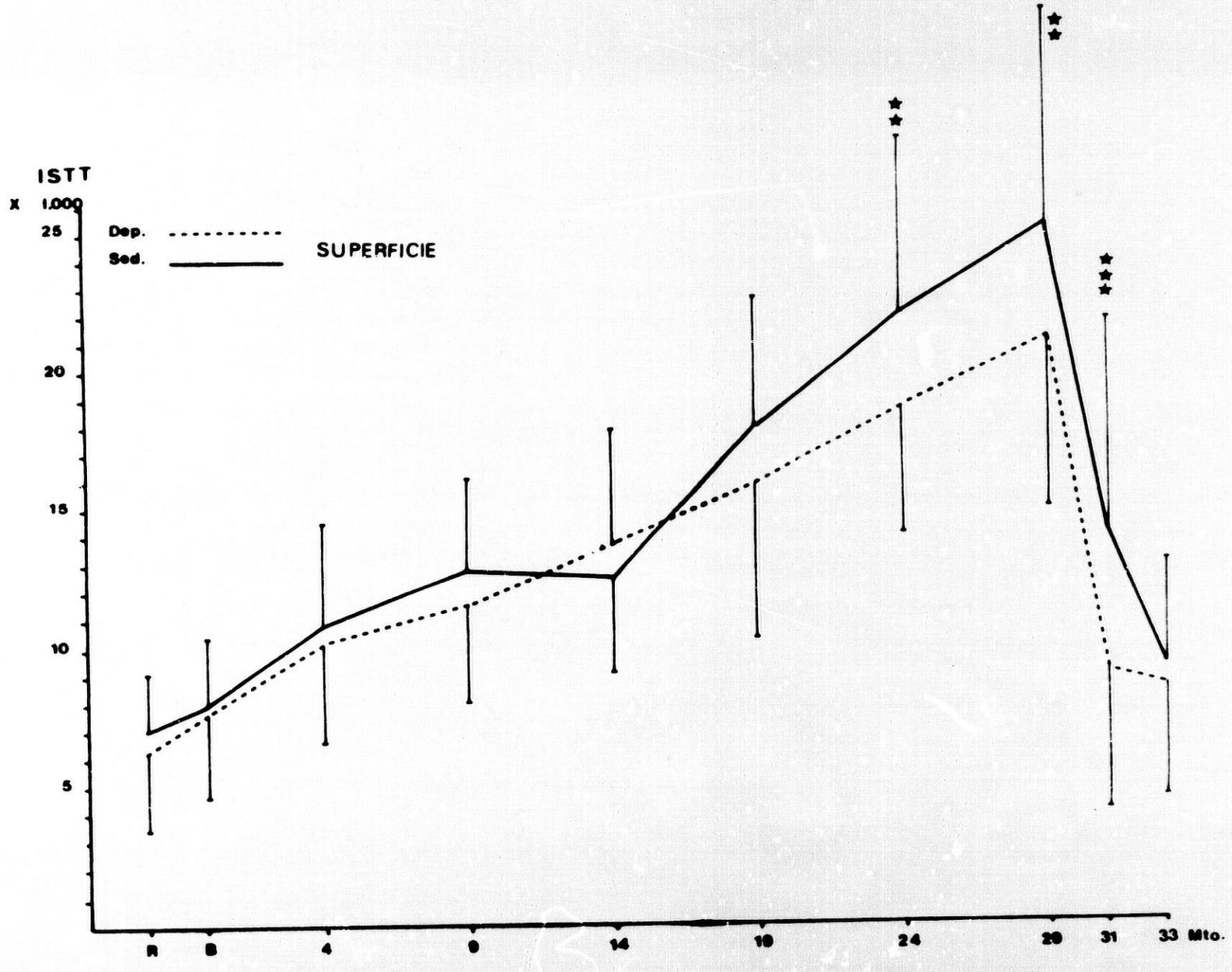

ISTT
X 1.000
25
20
15
10
5
Dep.
Sed.
SUPERFICIE
R
B
4
9
14
19
24
29
31
33 Mto.

FIGURA N° 28

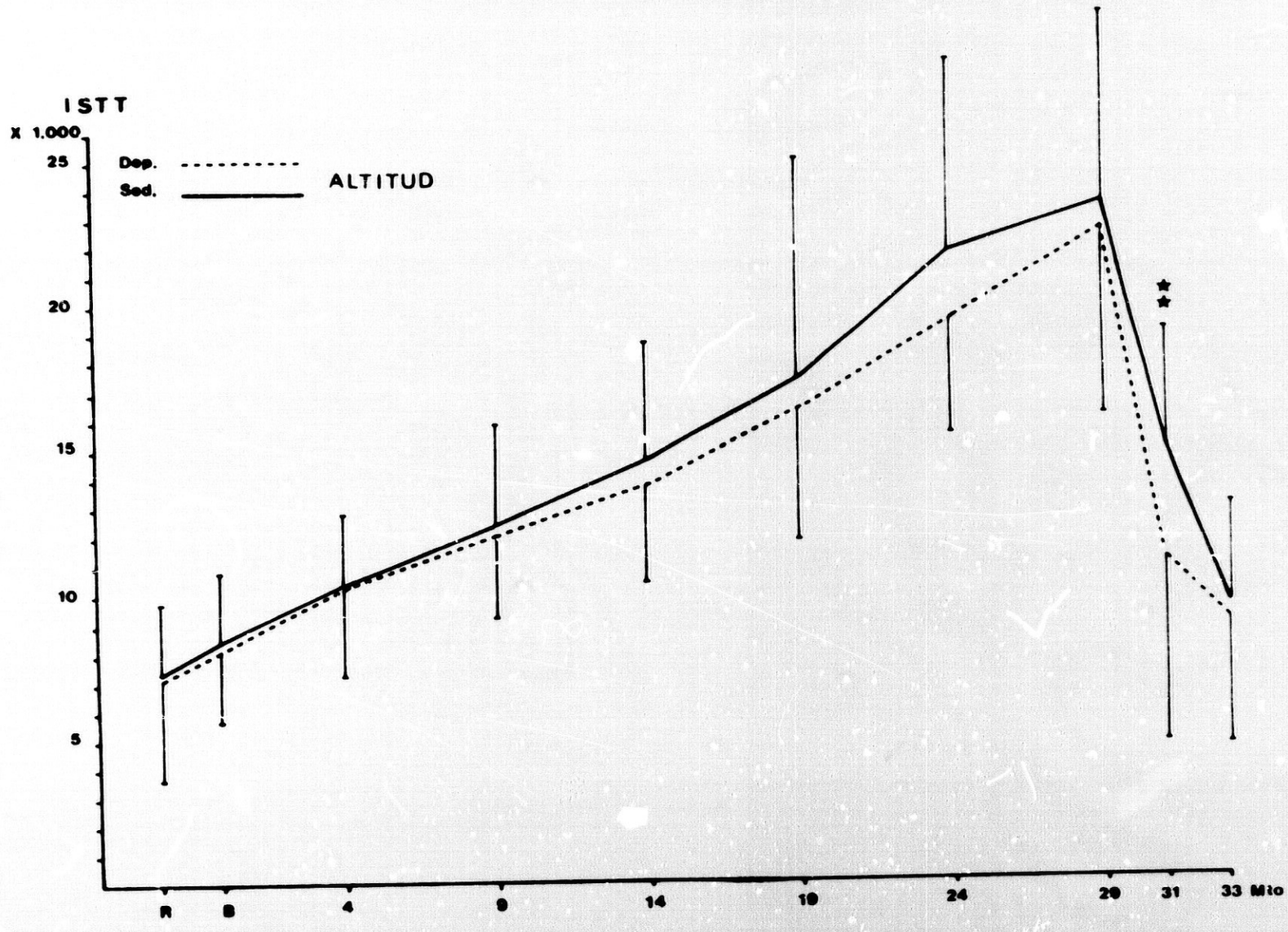

ISTT
X 1.000
25
20
15
10
5
Dep.
Sed.
ALTITUD
R
B
4
9
14
19
24
29
31
33 Mio

FIGURA N 29

Las diferencias en el ISTT se hacen inapreciables cuando el ejercicio se realiza en altitud, donde lo unico que aparece es una cierta dificultad inicial en volver a los valores de partida.

Cuando se compara la evolución del ISTT en los sujetos sedentarios realizano el mismo ejercicio fisico en superficie y en altitud, no se observan diferencias significativas entre ambas situaciones (FIGURA 30), mientras que sí se aprecian algunas diferencias para los deportistas, cuyo ISTT en reposo es ligera pero significativamente superior en altitud.

El incremento que se va produciendo con el ejercicio es similar en ambas situaciones, pero en altitud se alcanzan valores más elevados al final del protocolo de ejercicio (FIGURA 31).

FIGURAS 30 y 31 .-

ISTT a lo largo del protocolo de ejercicio fisico realizado en altitud (linea discontinua) o en superficie (linea continua) por el grupo de sujetos sedentarios y deportistas (n = 10 y n = 21 respectivamente).

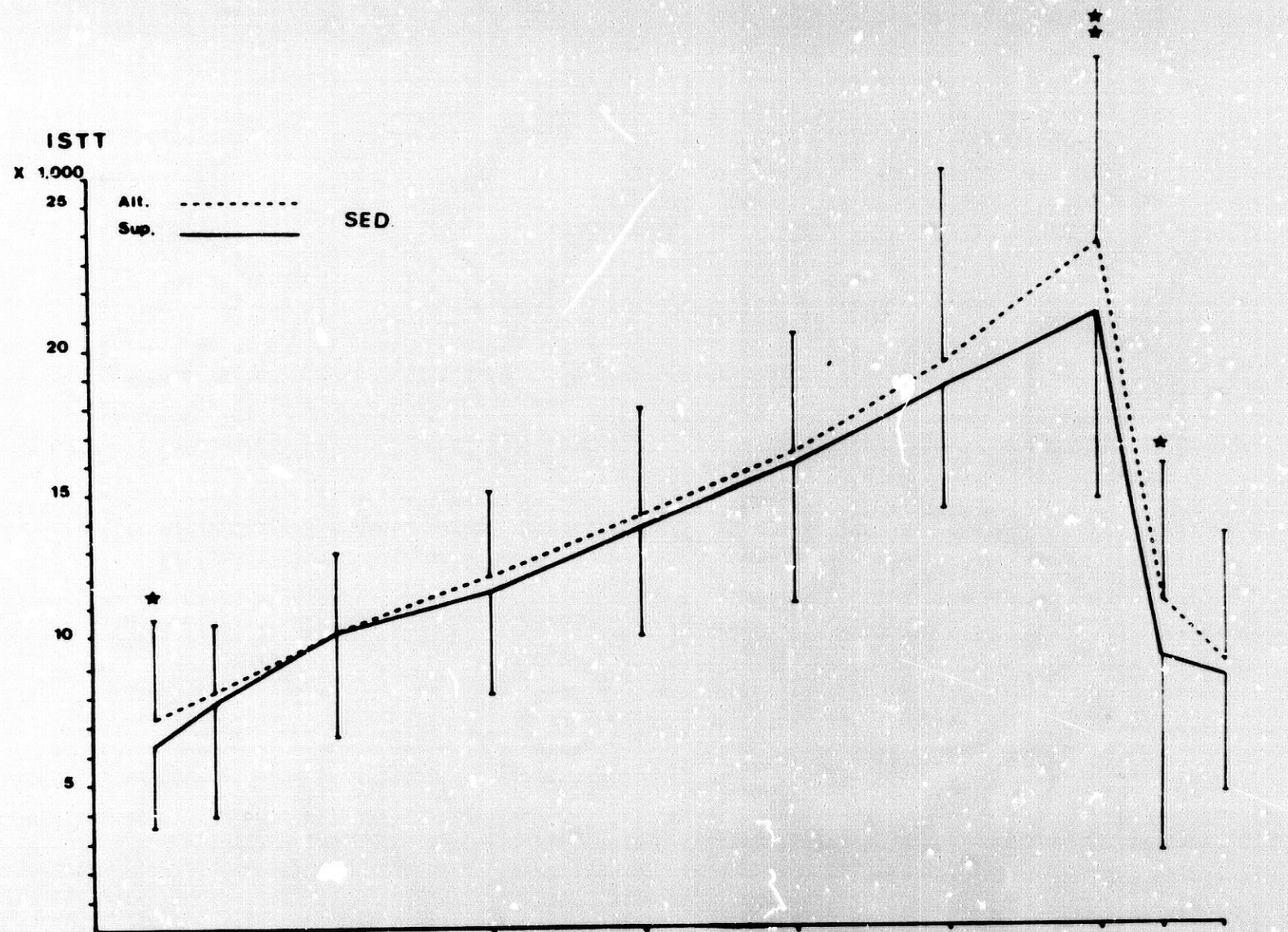


FIGURA N 30

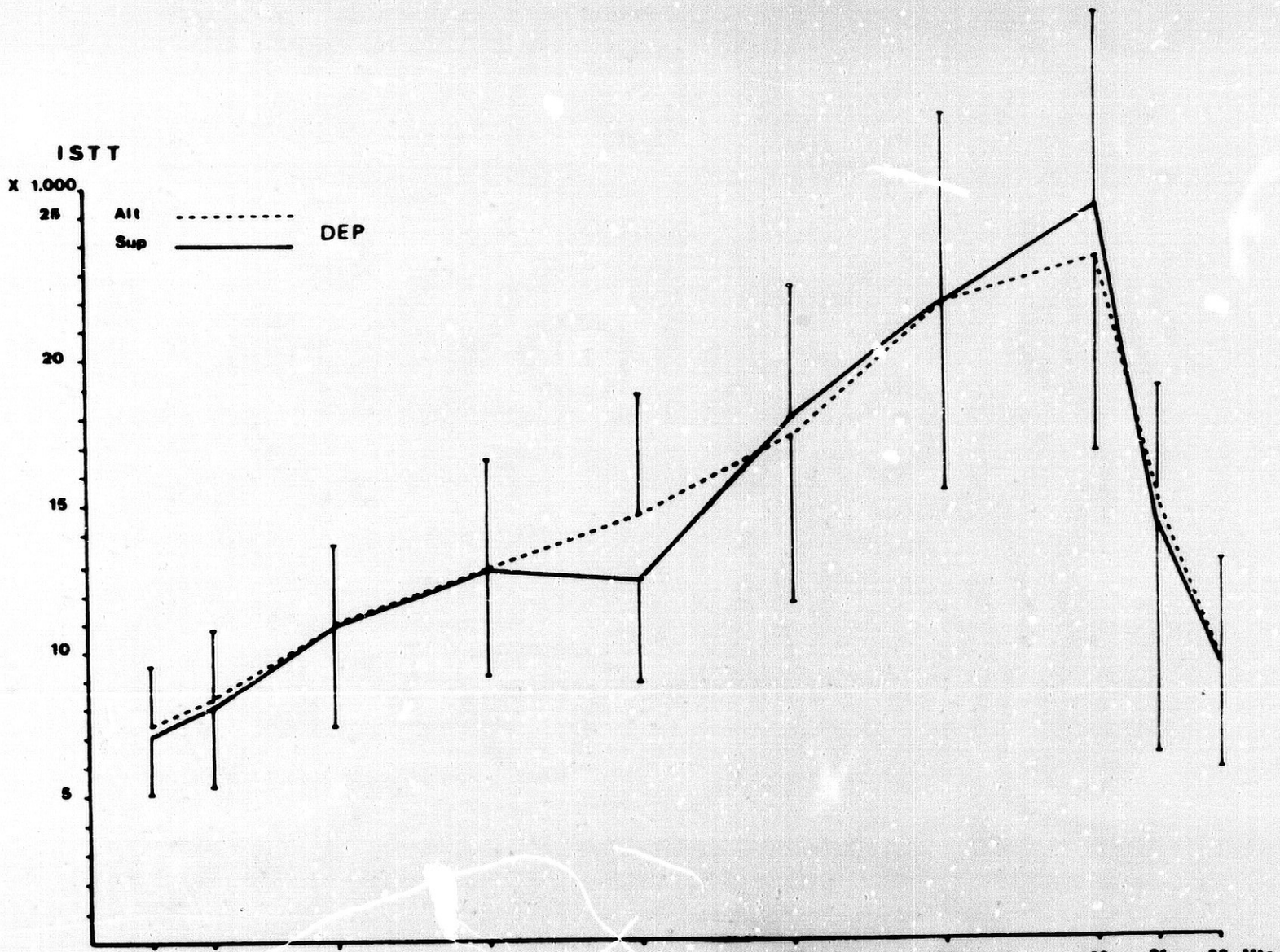


FIGURA N 31

PARAMETROS FUNCIONALES

El consumo máximo de oxigeno (VO_2 max) y el rendimiento deportivo estimado como la capacidad de trabajo a 170 pulsaciones por minuto, asi como los watios desarrollados por Kg de peso corporal total, son significativamente mayores en el grupo de sujetos deportistas que en el de sedentarios.

Estas diferencias de alguna forma se atenúan cuando el trabajo se realiza en altitud excepto para la capacidad de trabajo a 170 pulsaciones, en la que los deportistas muestran tambien en altitud una capacidad de trabajo que es más del doble de la que presentan los sedentarios. (FIGURAS 32 y 33)

El umbral aeróbico está significativamente disminuído en los sujetos deportistas con respecto a los sedentarios, tanto en superficie como en altitud (FIGURA 33).

Cuando se compara el comportamiento en superficie y altitud en los dos grupos de sujetos independientemente, se observa como disminuye por efecto de la altitud en los dos grupos significativamente el consumo de oxigeno, la capacidad de trabajo a 170 pulsacones y los W/Kg. Estos descensos de rendimiento que sufren los deportistas hacen que alcancen niveles superponibles a los que alcanzan los sedentarios en superficie.

FIGURAS **32** *y* **33** .-

Capacidad de trabajo a 170 pulsaciones, potencia desarrollada en watios por kg por el grupo de sujetos sedentarios (SED) y deportistas (DEP) realizando un protocolo especifico de ejercicio fisico en superficie y altitud.

Umbral aerobico (UA) y consumo de oxigeno maximo (VO_2) estimado durante el protocolo de ejercicio fisico realizado en superficie y altitud por los sujetos sedentarios (SED) y deportistas (DEP).

TABLA 7

CI ,/o	SUPERFICIE	ALTITUD	%
SEDENTARIOS	168.4 ± 25	153.5 ± 25.5	- 8.8
DEPORTISTAS	205.07 ± 42	179.4 ± 35.3	- 12.4
TOTALES	186.5 ± 34.1	166.4 ± 34.7	- 12.4

TABLA 8

W/Kg	SUPERFICIE	ALTITUD	%
SEDENTARIOS	2.5 ± 0.42	2.29 ±0.33	- 18
DEPORTISTAS	2.9 ± 0.52	2.54 ± 0.53	- 12
TOTALES	2.7 ± 0.53	2.42 ± 0.49	- 16

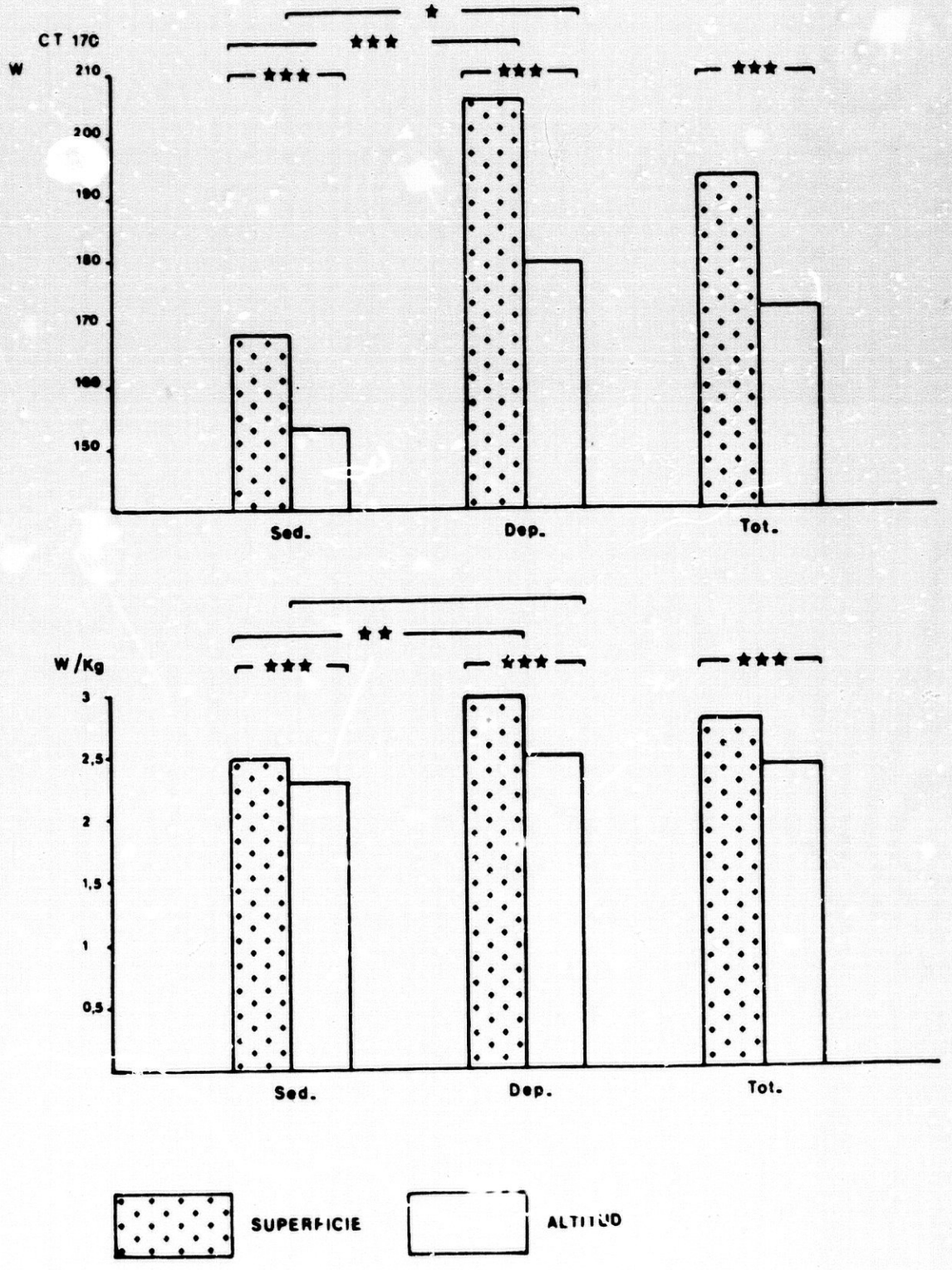

CT 17C
W
210
200
190
180
170
160
150
Sed.
Dep.
Tot.
W/Kg
3
2,5
2
1,5
1
0,5
Sed.
Dep.
Tot.
SUPERFICIE
ALTITUD

FIGURA N 32

TABLA 9

UA	SUPERFICIE	ALTITUD	%
SEDENTARIOS	111.6 ± 14.4	116.8 ± 12.8	+ 4.6
DEPORTISTAS	102.9 ± 13.3	107.4 ± 13.5	+ 5.2
TOTALES	105.3 ± 14.2	110.4 ± 13.3	+ 4.8

TABLA 10

VO. max	SUPERFICIE	ALTITUD	%
SEDENTARIOS	43.7 ± 3.8	41.4 ± 4.3	- 5.3
DEPORTISTAS	47.9 ± 5.7	44.2 ± 5.3	- 7.3
TOTALES	46.5 ± 5.5	43.4 ± 5.2	- 6.7

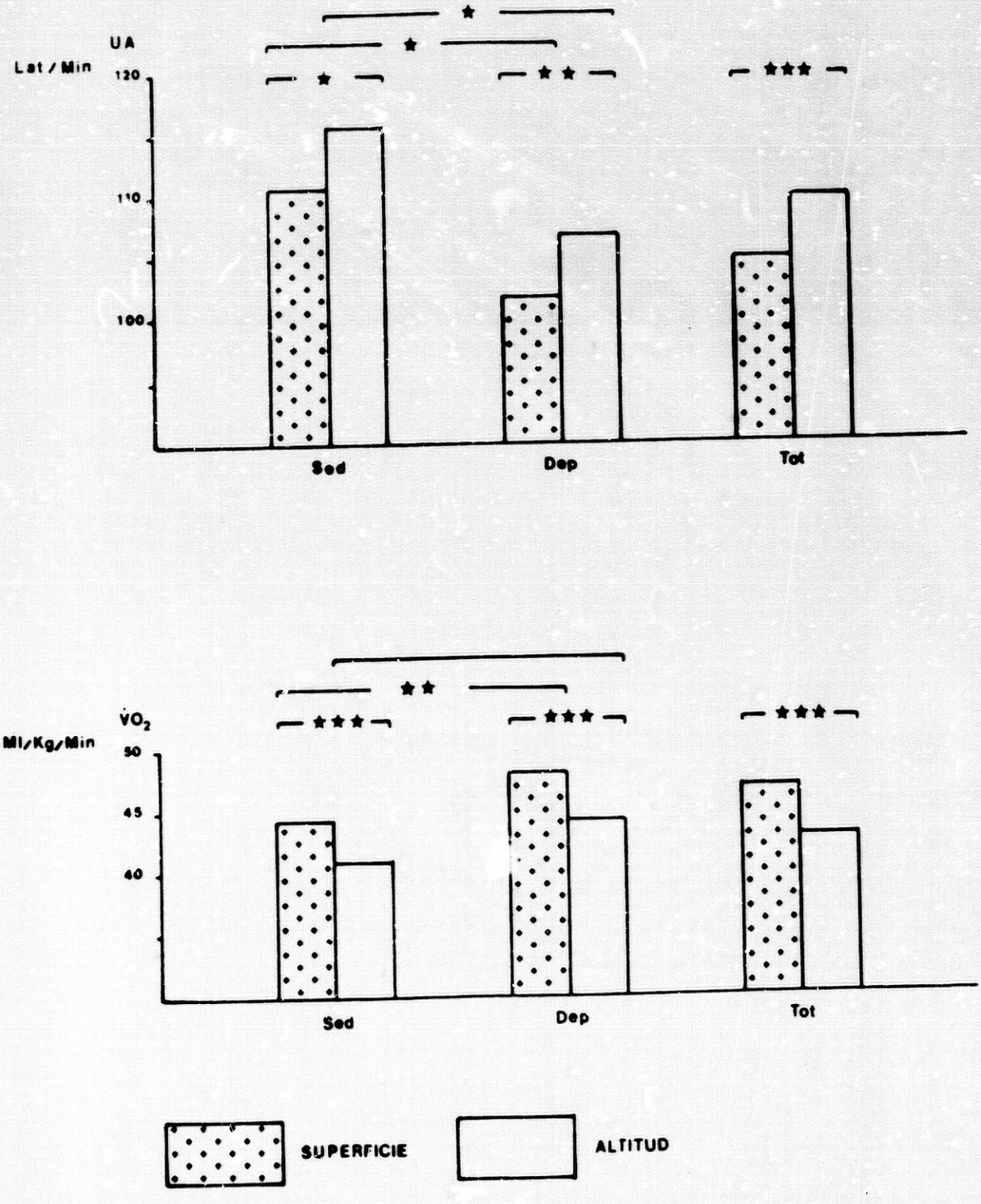

UA
Lat / Min
120
110
100
Sed
Dep
Tot
$\dot{V}O_2$
Ml/Kg/Min
50
45
40
Sed
Dep
Tot
SUPERFICIE
ALTITUD

FIGURA N 33

CAMBIOS HEMATOLOGICOS .-

Al nivel de altura en la que los sujetos estudiados viven habitualmente y que denominamos "superficie" los deportistas presentan unos niveles de glóbulos rojos circulantes ligeramente inferiores a los sedentarios (FIGURA **34**).

Tras el ejercicio se produce un incremento significativo en ambos grupos manteniendose la diferencia que había previo al mismo.

En altitud no se aprecian diferencias entre ambos grupos de sujetos, pero si se aprecia tambien un incremento significativo tras el ejercicio.

Comparando el comportamiento de cada grupo en superficie y en altitud, se aprecia que para los sedentarios, el hecho de encontrarse en altitud produce un incremento de glóbulos rojos, incremento que se acentúa tras la realización de ejercicio físico (FIGURA **34** , parte inferior).

En los deportistas sin embargo no se aprecian diferencias en la concentración basal de glóbulos rojos circulantes y aunque el incremento que se produce por efecto del ejercicio es superior cuando éste se realiza en altitud, las diferencias con respecto a los valores alcanzados en superficie, no llegan a ser estadisticamente significativos.

FIGURA **34** .-

Concentración de glóbulos rojos circulantes antes y despues del ejercicio físico en los sujetos sedentarios y deportistas que realizan el protocolo en superficie y altitud.

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

TABLA 11

HEMATIES

	SUPERFICIE		ALTITUD	
	antes	despues	antes	despues
SEDENTARIOS n=10	5.08±0.3	5 41± 0.1	4.99±0.08	5.21±0.10
DEPORTISTAS n=21	5.04±0.1	5.17±0.1	5 ± 0.05	5.23±0.05

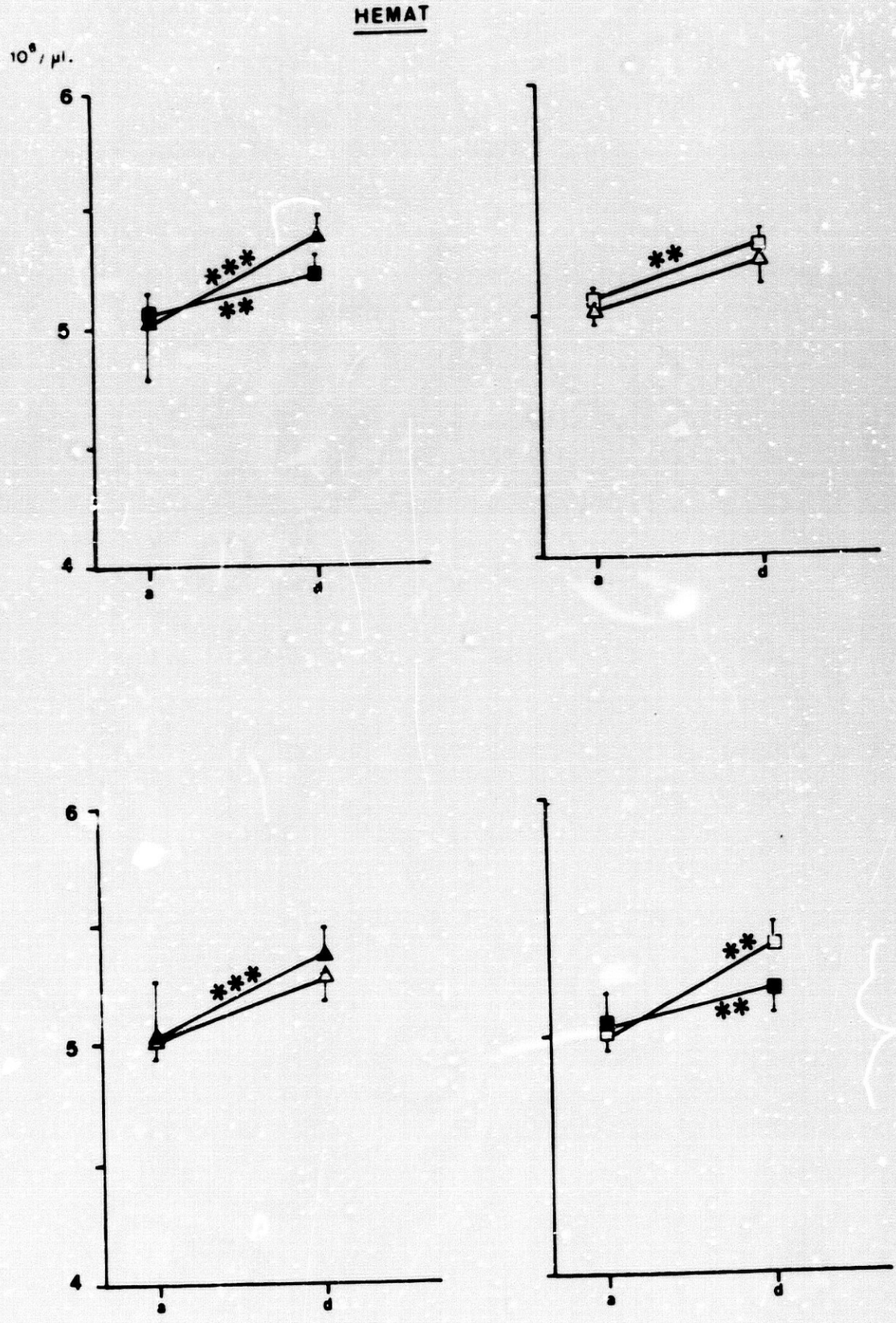


FIGURA N 34

Con respecto a la concentración de glóbulos blancos circulantes no se aprecian diferencias entre sedentarios y deportistas en los niveles basales obtenidos en superficie. Sin embargo tras el ejercicio se produce un claro y significativo incremento de los mismos en el grupo de sedentarios, y no así en el de deportistas. A pesar de ello los niveles alcanzados tras el ejercicio entre uno y otro grupo no son estadísticamente significativos.

FIGURA 35 .-

Cuando el ejercicio es realizado en altitud, se produce un significativo aumento tras el ejercicio en ambos grupos de sujetos, mostrando los sujetos sedentarios niveles significativamente superiores a los deportistas .

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$

Los resultados se dan en media ± SEM .

TABLA 12

LEUCOCITOS

	SUPERFICIE		ALTITUD	
	antes	despues	antes	despues
SEDENTARIOS n=10	5.9 ± 1.5	7.1 ± 1.8	5.6 ± 1.1	6.8 ± 1.9
DEPORTISTAS n=21	5.99 ± 2	6.08± 2.5	5.1 ± 1.5	5.9 ± 2.1

LEUCO

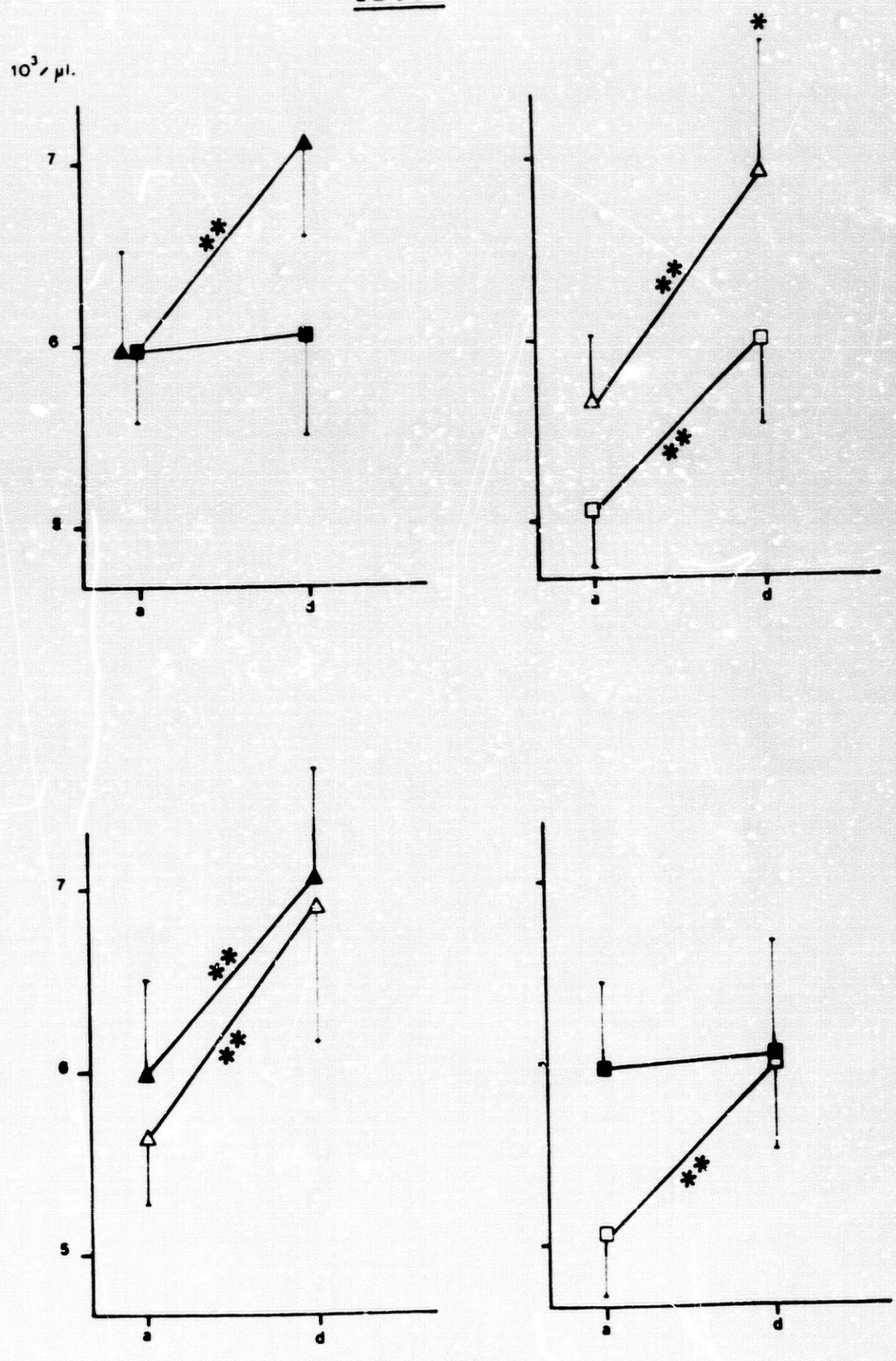


FIGURA N 35

Tampoco se aprecian diferencias significativas en el valor hematocrito entre sedentarios y deportistas, ni en situación basal en superficie, ni en reposo tras un ascenso subito a alta altitud.

Sin embargo sí se registran incrementos significativos tras el ejercicio en ambos grupos de sujetos tanto en superficie como en altitud.

El incremento que en superficie sufren los sujetos sedentarios es significativamente superior al que sufren los deportistas, mientras que en altitud es similar entre los dos grupos.

De igual forma el grupo de sedentarios incrementa más su valor hematocrito en superficie que en altitud.

FIGURA 36 .-

Valor hematocrito obtenido en superficie y en altitud en un grupo de sedentarios y otro de deportistas, antes y despues de un ejercicio fisico estandarizado. (triangulos claros y oscuros: sedentarios en altitud y superficie; cuadrados claros y oscuros: deportistas altitud y superficie).

Los valores se expresan en media ± SEM.

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.