

**BIOENERGETICA—
FACTORES QUE GOBIERNAN
LA ESCOGENCIA DEL COMBUSTIBLE
PARA EL TRABAJO MUSCULAR**

II Parte

Por: Ruth Gallo de Cardona*

Factores que gobiernan la escogencia del combustible para el trabajo muscular.

Como mencionamos en el artículo de la revista anterior (Vol. 4, No. 1), la escogencia de combustible para el músculo que trabaja está limitada a los carbohidratos y las grasas. La participación porcentual de estos dos combustibles principales en el metabolismo energético depende de una serie de factores, de los cuales hay dos que mayor y significativamente afectan su preferencia:

- La intensidad y duración del ejercicio.
- La dieta.

1. Efectos de la intensidad y duración del ejercicio.

Como muestra la Fig. 7, cuando la intensidad del ejercicio aumenta y la duración disminuye el predominio del combustible son los carbohidratos. Una de las razones para esto, es que la producción de ATP cambia hacia el metabolismo anaeróbico, durante ejercicios de corto tiempo y alta intensidad. Como mencionamos justamente, sólo los carbohidratos son combustibles en este sistema. Durante el ejercicio muy intenso y muy breve como correr 100 metros planos el mejor sustrato para la resíntesis de ATP es el creatinfosfato (CP).

Cuando la intensidad del ejercicio disminuye y la duración aumenta, las grasas llegan a ser

la mayor fuente de energía. Aunque ellas son el mayor combustible utilizado durante ejercicio prolongado, los carbohidratos son también importantes, particularmente durante el inicio o parte temprana de la ejecución. Esto es mostrado en la Fig. 8. Se observa como el uso de los carbohidratos es más grande al inicio, entonces, lenta, pero progresivamente la utilización de las grasas se hace mayor durante una ejecución continua, llegando a predominar en los esfuerzos de larga duración. Uno de los aspectos del uso de combustible usado, no mostrado en la figura, es el papel de los carbohidratos en las carreras de resistencia que requieren un embalaje o pique final, durante el cual los carbohidratos son una importante fuente, porque el sistema del ácido láctico está incluido.

La importancia de los carbohidratos durante ejercicio prolongado es subrayado por el factor de la depleción del almacenamiento muscular de glucógeno que casi siempre coincide con la fatiga muscular. Esto es verdad aunque hay abundancia de grasa suficiente en el músculo como combustible. La falta de glucógeno hepático representa el factor limitante que causa una disminución de la glucosa sanguínea; esto resulta en síntomas del sistema nervioso central, típicos de la hipoglicemia (vértigos, desmayos parciales, náuseas, confusión, etc.). Esto fue demostrado claramente en los estudios realizados

* Lic. Nutrición, Ms Fisiología
Esp. Ciencias del Deporte
Prof. I.U.E.F.A. U. de A.

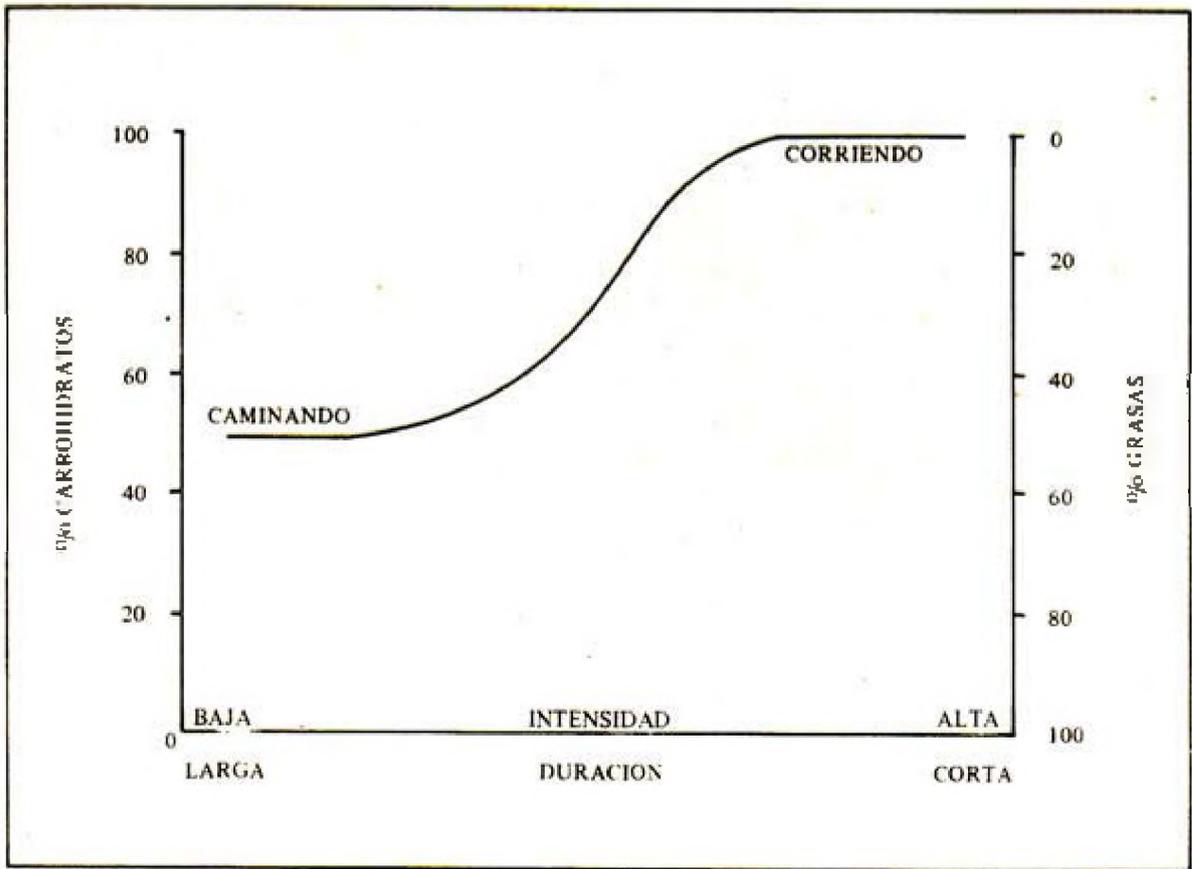


FIG. 7

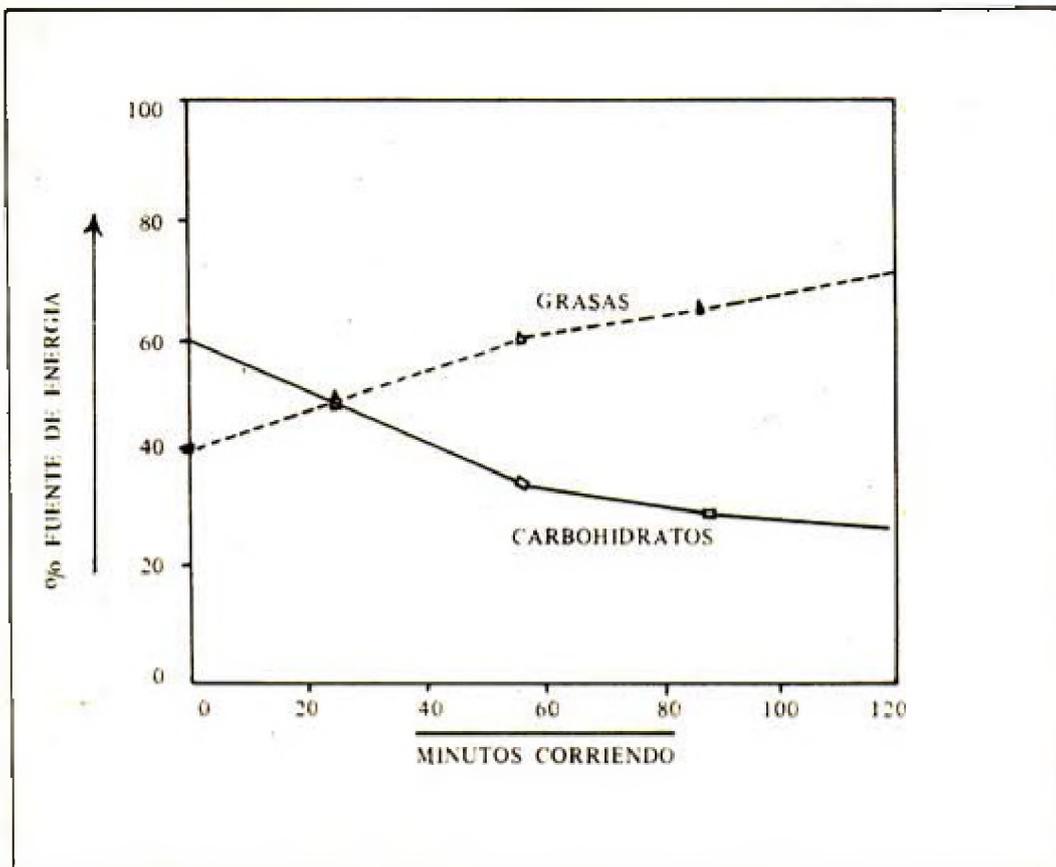


FIG. 8

por CHRISTENSEN y HANSEN en 1939.

El sistema nervioso central, con su bajo contenido en Glicógeno, depende en gran parte del azúcar sanguíneo. Por lo tanto, parece esencial la existencia de algún tipo de barrera destinada a impedir la penetración libre de glucosa a las células musculares y la utilización de las mismas para su metabolismo, pues esto podría generar una disminución rápida de los niveles sanguíneos de glucosa y resultar los síntomas graves de hipoglicemia. Con respecto a esto conviene señalar que la permeabilidad de la membrana celular para la glucosa depende de la concentración plasmática de insulina, la cual cae paralelamente con el azúcar sanguíneo

durante ejercicio prolongado de intensidad moderada. Así el glicógeno muscular almacenado constituye un sustrato más prontamente utilizable para el metabolismo energético en la célula muscular en actividad que la glucosa exógena. Este hecho constituye una ventaja para el sistema nervioso central, pues de lo contrario tendría que competir con los músculos por la glucosa sanguínea y sufriría de hipoglicemia.

2. Efectos de la Dieta.

La clase de alimentos que consumimos afecta cual combustible (CHO o grasas) puede ser más o menos utilizado durante el ejercicio. Esto puede observarse en la Fig. 9.

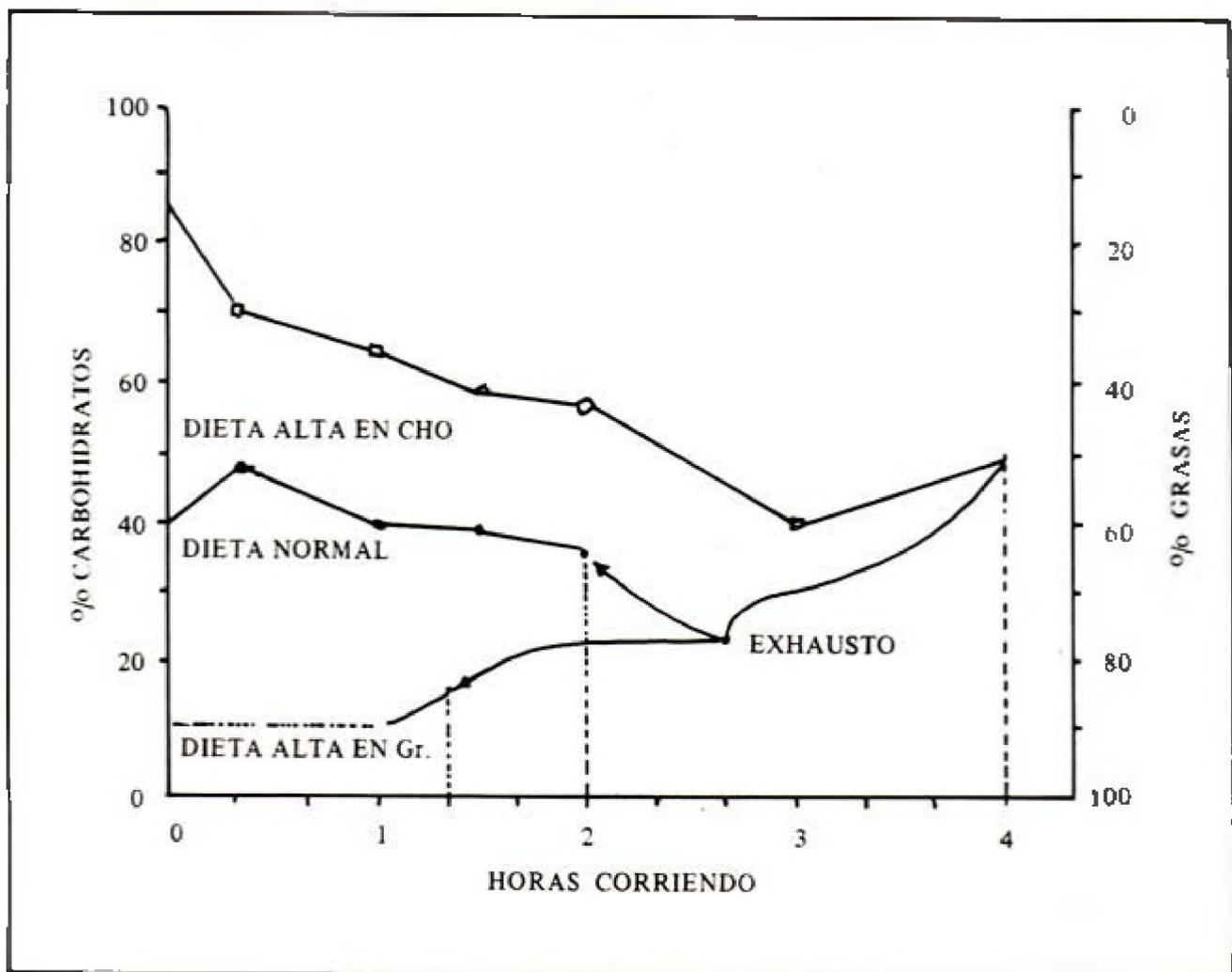


FIG. 9

A la dieta normal se ha denominado dieta mixta. Contiene aproximadamente 55% CHO, 30% Gr y 15% proteínas.

El patrón usado como combustible asociado con la dieta normal es el descrito anteriormente; al principio, los carbohidratos son usados preferentemente y luego las grasas.

Los sujetos que consumieron esta dieta normal por un periodo de varios días, pudieron correr dos horas antes de llegar a la fatiga.

Después de varios días con una dieta alta en grasa y baja en CHO, el combustible preferido durante el ejercicio fueron las grasas, aun durante la primera fase de la carrera. Esto indica claramente que la eficacia del combustible como determinante a través de la dieta es un importante factor en el combustible preferido. Se observó también que los sujetos llegaban a la fatiga a los 85 minutos, 35 minutos antes de los que recibieron dieta mixta.

Cuando la dieta ha sido alta en carbohidratos y baja en grasas, 3 características se pueden notar:

- Los carbohidratos fueron usados en mayor cantidad, particularmente al inicio del ejercicio.
- Aun con esta gran eficacia de los CHO, allí todavía hubo preferencia por las grasas, durante ejercicio continuo.
- Siguiendo la dieta alta en carbohidratos sujetos pudieron correr por 4 horas antes de llegar a la fatiga. Esta resistencia es así 2 veces asociada a la dieta mixta y 3 veces con la dieta alta en grasas.

Estos resultados fueron obtenidos en 1939, mostrando la importancia de los carbohidratos en la resistencia.

Tipos de Carbohidratos utilizados como combustible: Glucosa - Glucógeno.

Casi todos los carbohidratos ingeridos son convertidos en glucosa. Este es un azúcar simple o monosacárido y es la forma básica como se utilizan los carbohidratos en el orga-

nismo. Alguna de la glucosa sanguínea es almacenada en forma de glucógeno en las células musculares y hepáticas.

El gasto de glucosa sanguínea por el músculo esquelético es más bien pequeño, sin embargo, durante ejercicio prolongado, el gasto de glucosa se incrementa, su mayor participación como vimos anteriormente puede mejorarse con una dieta rica en carbohidratos antes del ejercicio.

Los niveles de glucosa además de estar determinados por el consumo de CHO en la dieta, también son regulados por el hígado. Cuando la glucosa sanguínea está disminuida, el glucógeno hepático es desdoblado y cuando está aumentada, el hígado la toma, almacenándola como glucógeno. La mayor fuente de glucosa sanguínea durante ejercicio prolongado proviene del glucógeno hepático. El almacenamiento de glucógeno muscular, no puede suplir directamente la glucosa sanguínea porque es desdoblado hasta ácido láctico por el metabolismo anaeróbico.

El ácido láctico difunde a la sangre y es llevado al hígado, allí puede ser convertido en glucosa y almacenado como glucógeno hepático y luego ser desdoblado a glucosa sanguínea.

La depleción del glucógeno muscular juega un papel importante en la fatiga muscular. Puede ser incrementado por medio de la dieta, efecto que ha sido demostrado mejora la resistencia.

El uso del glicógeno muscular depende de una serie de factores, incluyendo la intensidad, duración y modo de realizar un ejercicio.

Los datos de la Fig. 10A fueron obtenidos en sujetos que habían realizado varias ejecuciones durante dos horas en bicicleta, cada una con intensidad diferente. El ejercicio fue medido en un cicloergómetro (bicicleta estacionaria en la cual la carga y frecuencia de trabajo, puede ser controlada con precisión). El glicógeno fue casi totalmente depletado cuando los sujetos estaban agotados.

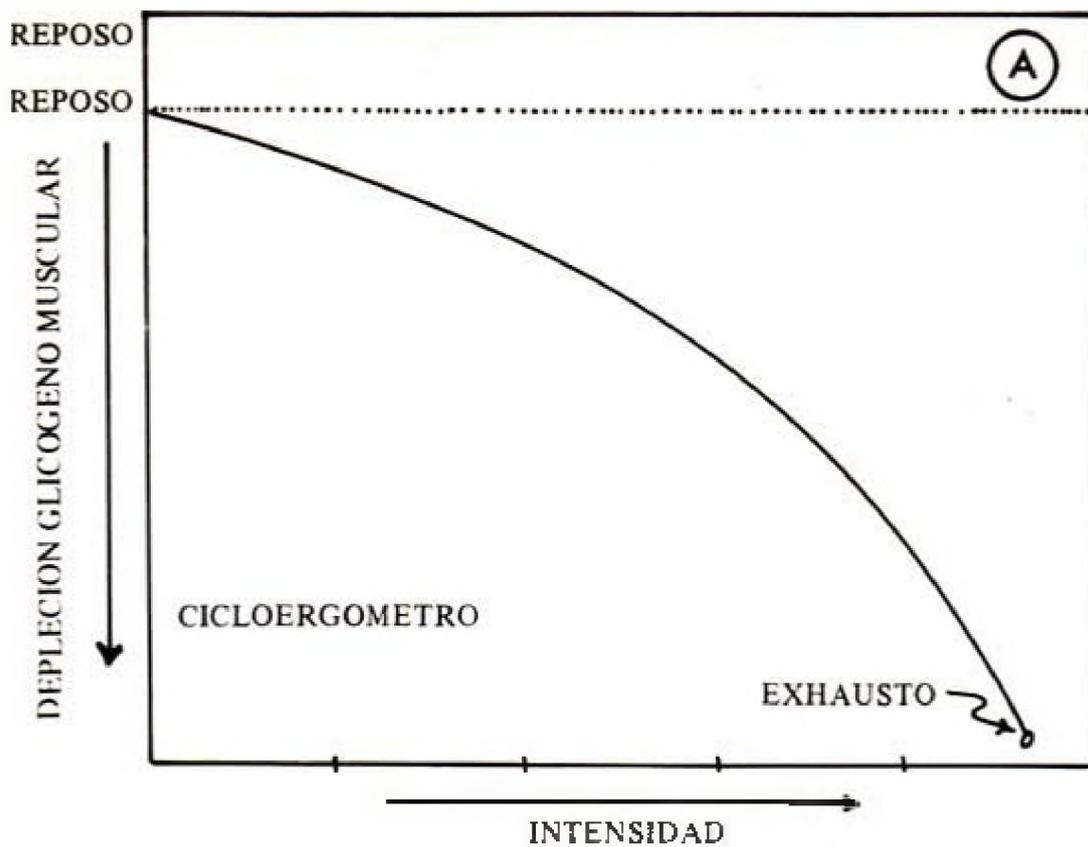


FIG. 10-A

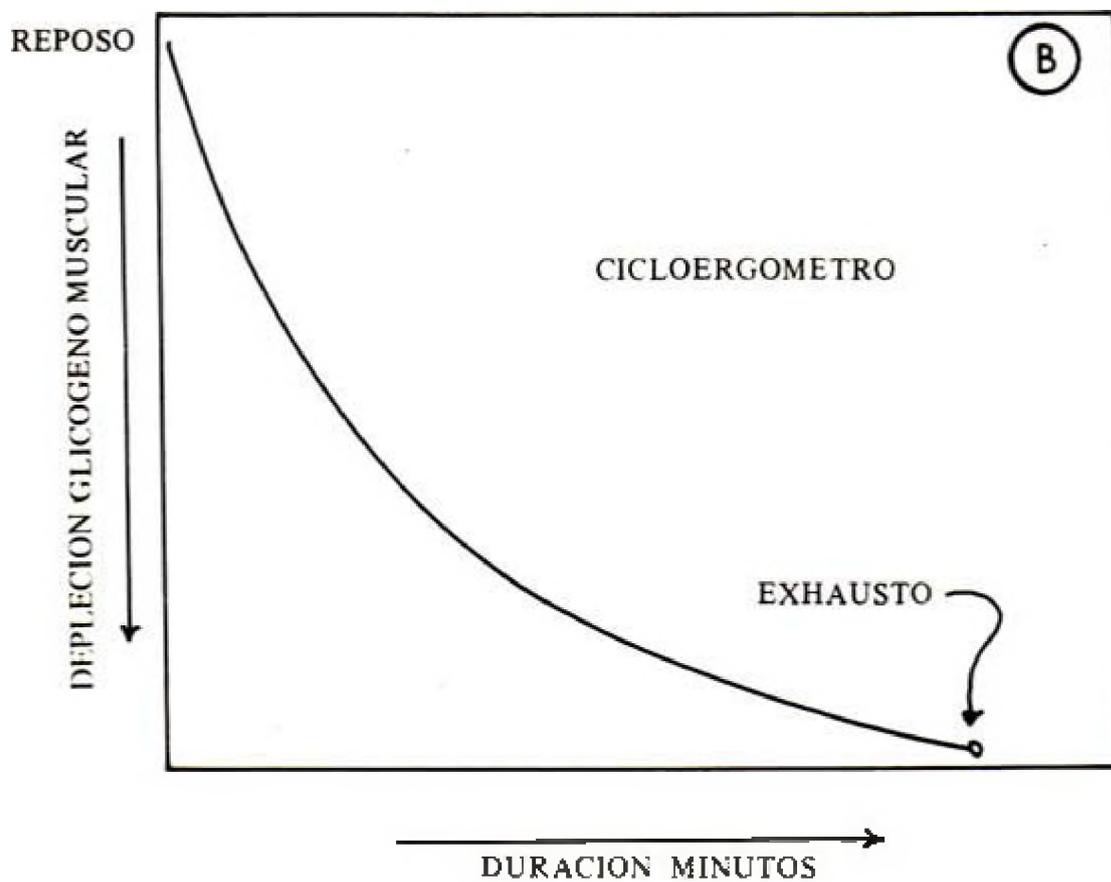


FIG. 10-B

Los datos de la Fig. 10B, representan los obtenidos en sujetos trabajando a una intensidad submáxima constante sobre un cicloergómetro. En este estudio los sujetos pedaliaban 20 minutos y descansaban 5 minutos; durante este descanso eran tomadas las biopsias musculares (es la renovación de una pequeña pieza de tejido, generalmente tomado del vasto lateral). El tejido era después analizado y determinado el contenido de glicógeno, observando que éste era casi totalmente utilizado cuando los sujetos estaban exhaustos.

En la Fig. 10C, fue anotada la cantidad de glicógeno usado por el vasto lateral durante la ejecución de varios sprints sobre cicloergómetro, cada sprint tuvo duración de un minuto a la mayor intensidad de trabajo que el sujeto pudiera soportar en ese tiempo, luego 10 minutos de descanso. Después de 6 sprints los sujetos quedaron exhaustos. La disminución del glicógeno observada, resulta principalmente de su uso como sola fuente del sistema anaeróbico. Aquí no se observó una depleción total de los depósitos de gli-

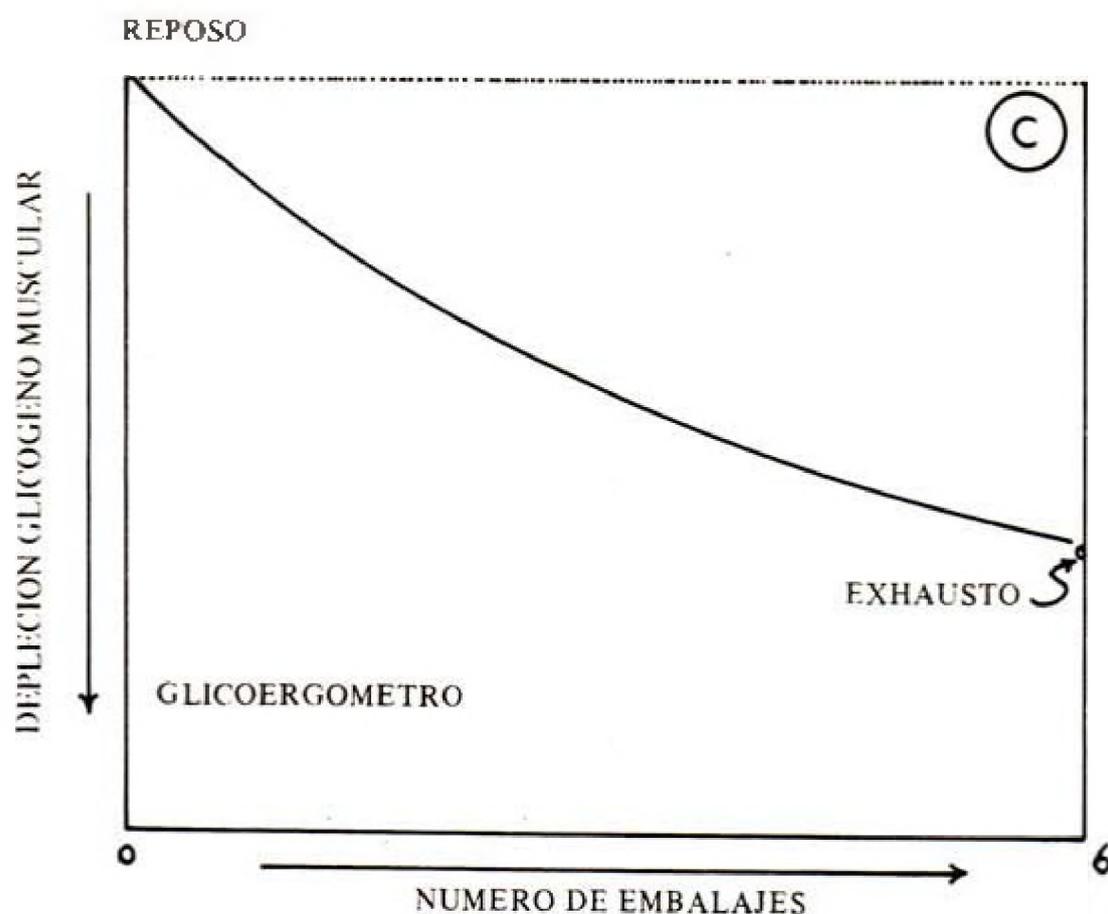


FIG. 10-C

cógeno. La fatiga en este caso se debe a los acúmulos de ácido láctico en sangre y músculos.

El modo de realizar el ejercicio puede influenciar el grado con que el glicógeno es usado por los músculos. Para un determinado músculo la cantidad de glicógeno usado

depende de la participación de dicho músculo durante un ejercicio, por ejemplo, el músculo vasto lateral es más activo durante el ciclismo que en otra actividad, ocurriendo por lo tanto mayor depleción de glucógeno durante el ciclismo. La cantidad de glicógeno usado por el vasto lateral durante 20 minutos en bicicleta es la misma usada en correr 30 km.

La Fig. 11A nos muestra el corredor comparado con un corredor de Sky a campo traviesa (este deporte envuelve gran cantidad de músculos). La depleción del glicógeno es igual durante 7 horas en Sky (85 kms) que durante 12 horas corriendo (100 kms).

Otra relación entre el modo de realizar un ejercicio y el glicógeno usado lo observamos en la Fig. 11B. Esta nos muestra como los 3 mayores músculos que participan en la carrera utilizan el glicógeno en el sujeto corriendo sobre terreno plano y en ascenso.

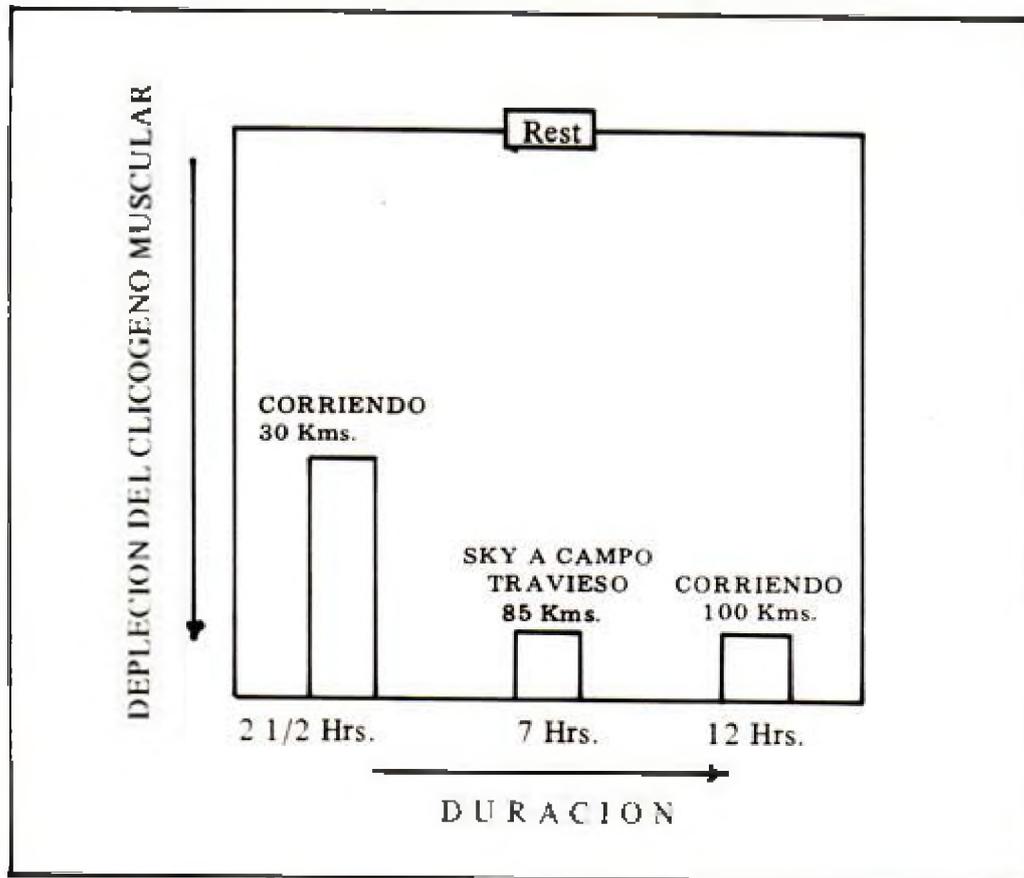


FIG. 11-A

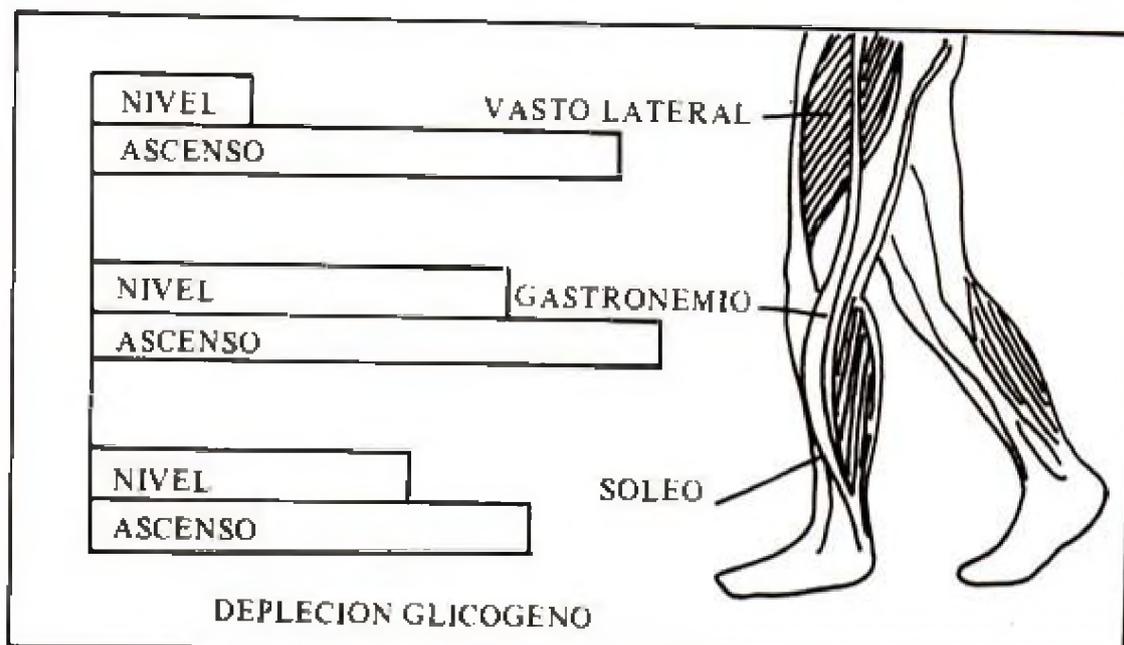


FIG. 11-B

Observando una mayor utilización del glicógeno en ascenso, demostrando por qué ocurre más fácilmente la fatiga cuando se corre en ascenso.

Otro factor relacionado al modo de realizar el ejercicio y al efecto del uso del glicógeno muscular es el tipo de fibras musculares utilizadas durante el ejercicio. La mayoría de los músculos humanos contienen 2 tipos de fibras básicas: fibras rápidas (FT) y las fibras lentas (ST). Las fibras rápidas son fisiológica y metabólicamente usadas para trabajos de alta intensidad y corta duración (velocidad). Tienen una alta capacidad de producción de ATP por la vía anaeróbica, debido a esto también se les denomina fibras glicolíticas; su capacidad aeróbica es baja. Las fibras lentas son caracterizadas por alta capacidad aeróbica y baja anaeróbica, son llamadas fibras oxidativas. Se encuentran en mayor cantidad entre los que ejecutan ejercicios de resistencia o aeróbicos.

En la Fig. 12, observamos el uso del glicógeno muscular en las fibras rápidas y lentas durante una carrera de 30 km. (A) y durante repetidos sprints en cicloergómetro (B). La depleción del glicógeno fue mayor en las fibras lentas durante la carrera y en las

fibras rápidas durante el sprint. Con esto se puede decir que las ST son recluidas preferentemente durante trabajo prolongado y las FT durante trabajo corto e intenso (COSTILL, 1973).

Forma en que las grasas son utilizadas como combustible: ácidos grasos libres (AGL), triglicéridos.

Los ácidos grasos libres llevados por la sangre representan la mayor fuente de energía para la producción de ATP por el sistema oxidativo durante ejercicio prolongado de intensidad moderada.

Un aumento de nivel de los AGL inducido a través de la dieta con un almacenamiento normal de glicógeno, ha sido observado en ratas que mejora la resistencia. Este incremento logrado de esta forma es ocasionado por un proceso referido como "Economía del Glicógeno", ya que los nuevos AGL son preferencialmente utilizados como combustible; así se economizan los depósitos de glicógeno, retardándole la fatiga.

NOTA: Aunque el proceso relativo a la dieta sobre el consumo de alimentos grasos parece práctico, ellos no son recomendables, debido

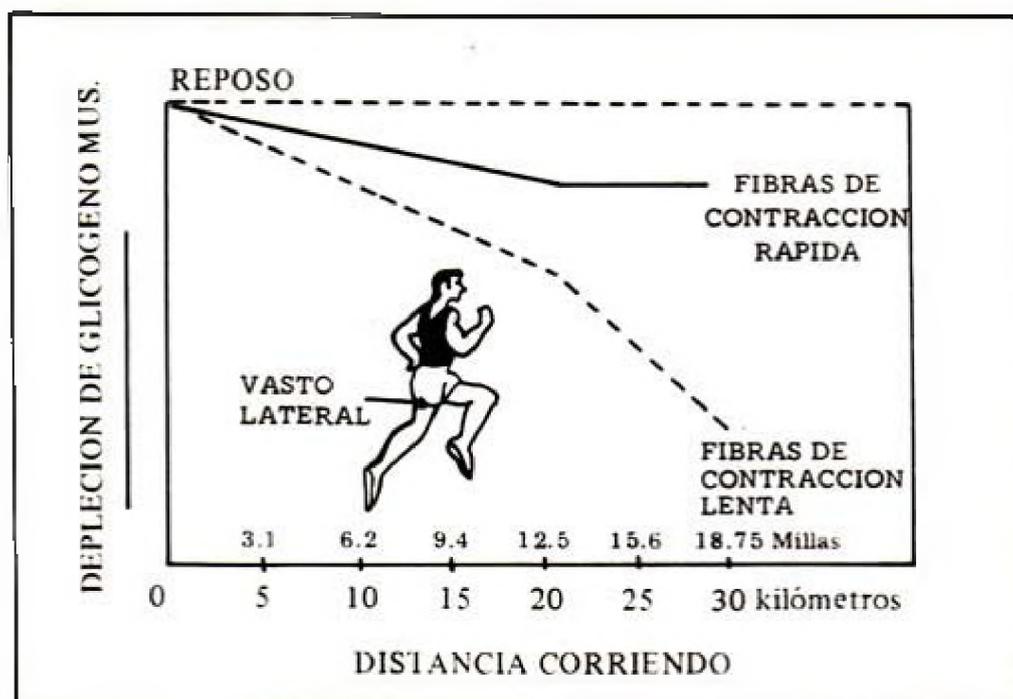


FIG. 12-A

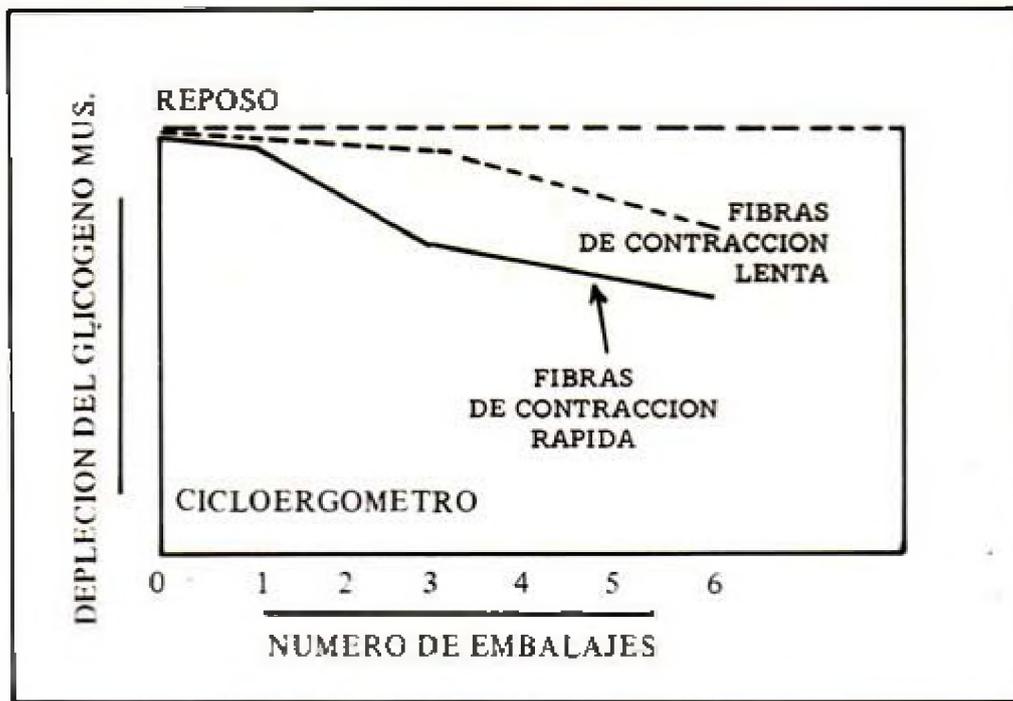


FIG. 12-B

principalmente a que gran cantidad de alimentos grasos antes de una competición puede causar considerables disturbios gastrointestinales. Se deben realizar mayores investigaciones al respecto.

Los triglicéridos representan la forma de almacenamiento de los AGL, se encuentran en el tejido adiposo y en el músculo esquelético. Recientes investigaciones han comprobado el uso considerable de los triglicéridos musculares durante las actividades prolongadas (75% del metabolismo graso se efectúa en esta forma). Lo que afecta el uso de los triglicéridos musculares es el nivel existente en el músculo antes del ejercicio.

En la Fig. 13, durante la realización de un trabajo submáximo en cicloergómetro por una hora, se ha observado la participación porcentual de cada una de las fuentes de energía en el metabolismo total. El glucógeno y los triglicéridos musculares suplen aproximadamente el 75% de la energía, mientras los AGL y la glucosa sanguínea el 25%.

En conclusión, tenemos que existen varias aplicaciones del concepto de energía.

Nutrición y actividad física

Hemos visto como la resistencia de la ejecución de una actividad física puede ser mejorada siguiendo varios días una dieta rica en carbohidratos, además de la ingestión de glucosa en bajas concentraciones durante ejercicios extremadamente largos (3 h o más) se ha encontrado una correlación con el mejoramiento de la resistencia y retardo de la fatiga. Aun la ingestión de alimentos grasos varias horas antes del ejercicio, ha sido experimentado en ratas produciendo incremento de la resistencia y retardo de la fatiga. Aplicando estos conocimientos en los deportes o en la actividad física se puede entender cuales alimentos son preferiblemente usados para producir energía en los músculos y como la regulación dietaria de esos alimentos afectan su evaluación como fuente de energía.

Control de peso corporal.

Uno de los más importantes conceptos respecto del control de peso es el balance energético.

Si la energía tomada en los alimentos es ma-

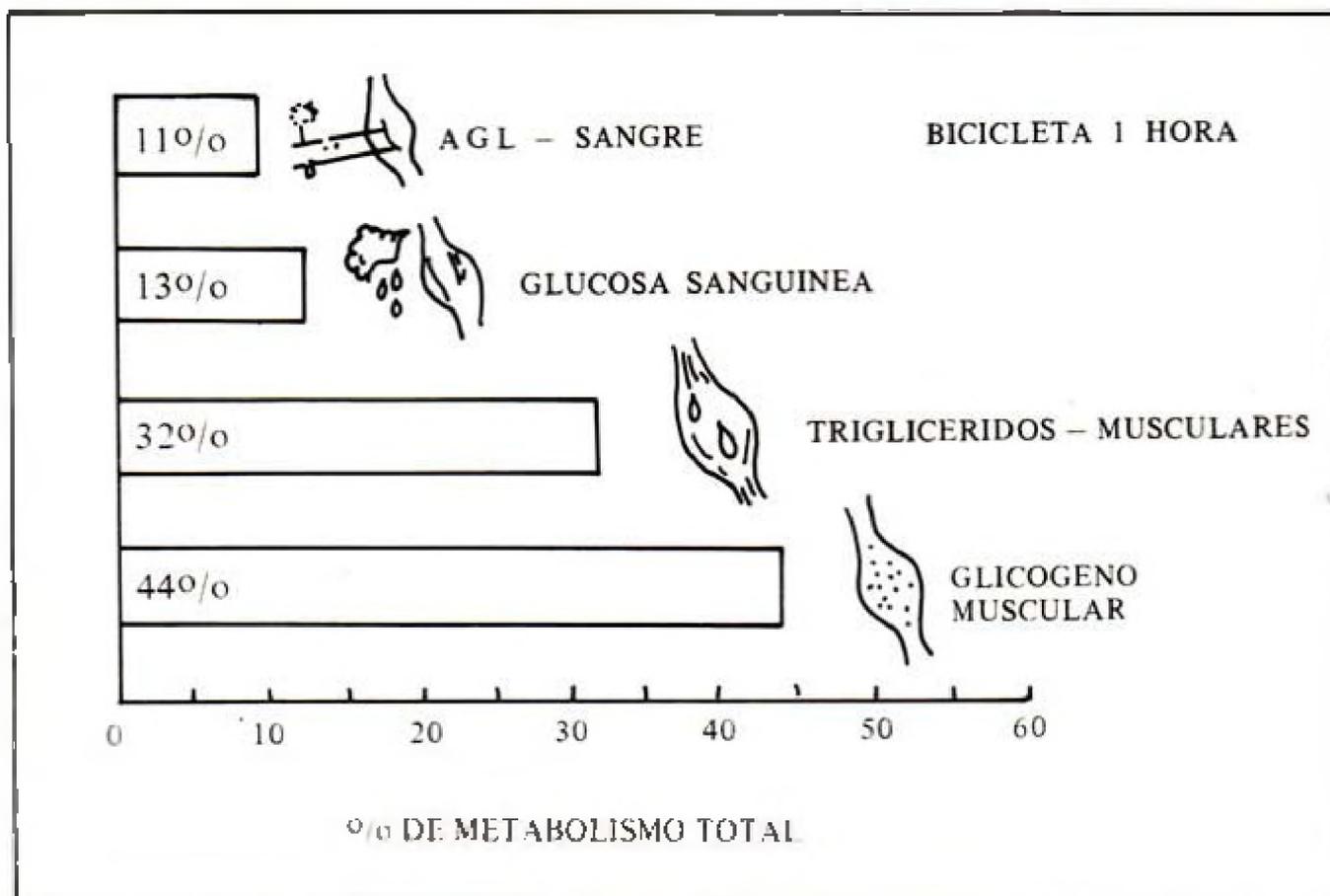


FIG. 13

yor que la expedida en la actividad o ejercicio, el peso del cuerpo se incrementa, lo contrario también ocurre. En la mayoría de los deportes el peso deseado es esencial para contribuir a la buena ejecución. Controlando el balance energético y el peso corporal necesariamente envuelve principios de nutrición y composición corporal.

En particular reconociendo las diferencias entre reducción de peso, pérdida de agua y la conveniente pérdida de grasa permitiría al individuo realizar un programa de ejercicio que no arriesgue la salud y su seguridad personal.

Mantenimiento de la temperatura corporal.

La temperatura corporal estable requiere que la cantidad de calor producido por el cuerpo iguale la cantidad de calor dada por el medio ambiente. Durante el ejercicio la producción de calor se incrementa en proporción directa a la cantidad de trabajo ejecutado. Se debe

prevenir una excesiva alza de temperatura corporal del atleta durante el ejercicio. El entrenador debe reconocer que el más efectivo de los mecanismos de la pérdida de calor es la evaporización del sudor, no debe por lo tanto ser inhibido por excesiva ropa o equipamiento atlético.

Prevención y/o retardo de la fatiga.

Conociendo cual energía es producida dentro del cuerpo podríamos tener idea, qué es la fatiga y cómo ésta puede ser retardada y en algunos casos aun evitarla durante la actividad. Ejemplo: casi todos han visto un corredor en el 1er. lugar durante el embalaje de la 1a. parte de la carrera y casi de último al primer lugar.

Construcción de programas de entrenamiento

Estos deben ser construidos para tener efectos benéficos con base en las capacidades fi-

siológicas requeridas para la ejecución de una determinada actividad.

Una de estas capacidades envuelve el suplemento de energía a los músculos que trabajan. Por ejemplo, la vía en la cual la energía es suplida durante las carreras de velocidad es diferente de las carreras de maratón.

Por lo tanto, el programa de entrenamiento debe ser construido incrementando el tipo de energía específica para la ejecución.

También debe tenerse en cuenta la clase de

fibras encontradas en el individuo. La clase de especificidad es en parte relativa a la diferencia de energía potencial entre los 2 tipos de fibras.

BIBLIOGRAFIA

NOTA:

Ver Revista Educación Física y Deporte,
Vol. 4, No. 1 -- Enero - Marzo / 82.