

***FISIOLOGÍA  
DEL  
EJERCICIO***

## **CÉLULA**

Los organismos vivos están constituidos por materia viva o protoplasma. Pero el protoplasma del cuerpo humano no forma una masa única, sino que está dividido en un número grande de unidades, generalmente microscópicas, que se denominan células.

### **Descubrimiento de la célula**

El estudio de la célula o citología (del griego Kytos, célula, y logos, tratado), ocupa un lugar predominante en la biología.

Fue descubierto en 1665 por el naturalista inglés Robert Hooke (1635- 1703), quien observando en un microscopio – recientemente inventado - láminas de corcho, vio pequeñas cavidades similares a las celdillas de un panal de abejas y las denominó células (del latín célula, pequeña celda).

### **Definiciones**

- La célula es la mínima parte de materia viva que puede tener una vida independiente y reproducirse.
- Es una microgota de protoplasma.
- Es una masa de protoplasma que posee un núcleo y está rodeada de una membrana plasmática.
- Es la unidad de origen de todos los seres vivos ( Weismann, 1880)
- Es la unidad estructural y funcional en la estructura de los seres vivos.

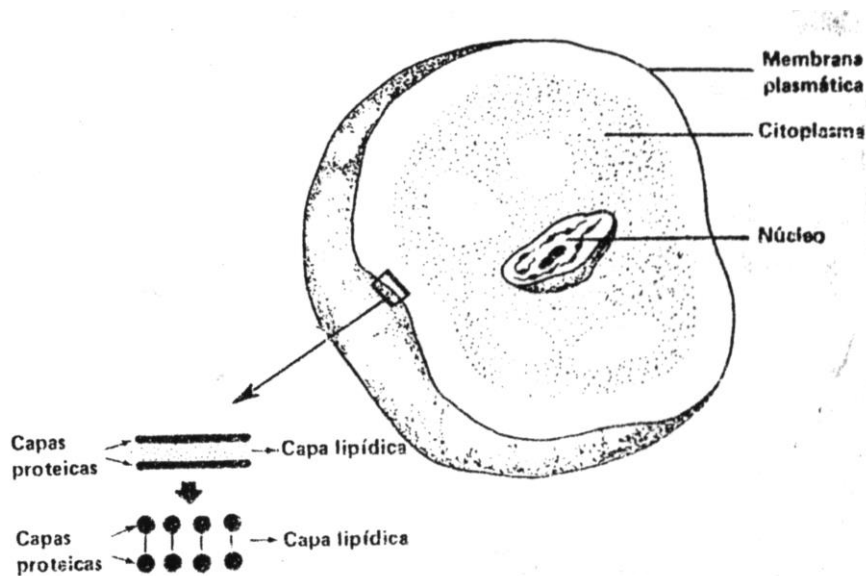
### **Generalidades**

- El Color.  
Por lo general, las células son incoloras porque el protoplasma es incoloro, pero diversos pigmentos pueden dar diferentes coloraciones a la piel, cabellos, ojos, etc.
- El tamaño  
Las células siempre son microscópicas y sus dimensiones pueden ser:  
de 6 a 8 micrones/ glóbulos rojos  
200 micrones / óvulos femeninos  
La célula muscular puede medir hasta 10 cm. de largo.
- La forma  
Es variada, si bien su forma original es esférica, a causa de las presiones ejercidas por las células vecinas pueden ser células ovaladas, redondas, cúbicas o cilíndricas como las epiteliales, discoidales como los glóbulos rojos, estrelladas como las células conjuntivas, arcniformes como las óseas, o alargadas como las fibras musculares.
- La cantidad  
Es incalculable en una persona y varía según la talla del individuo.

### **Estructura de la Célula**

Fisiológicamente es una unidad indivisible, pero morfológicamente y para su mejor estudio podemos considerar dos zonas bien diferenciadas: El citoplasma y el núcleo o carioplasma constituyendo ambos el protoplasma.

La parte externa de la célula, en contacto con el medio ambiente, forma una membrana llamada membrana plasmática.



## MEMBRANA PLASMÁTICA

También llamada citoteca, está presente en todas las células. Como es extremadamente delgada (1/100 de micrón), resulta invisible con el microscopio óptico, debiendo recurrirse al microscopio electrónico para su observación. En éste aparece constituida por tres capas: dos capas densas de naturaleza proteica que encierran una capa clara central y doble, de naturaleza lipídica. Cada capa tiene 25 A ( A = diezmilésima parte de un micrón o micra), de manera que en conjunto mide 75 A de espesor.

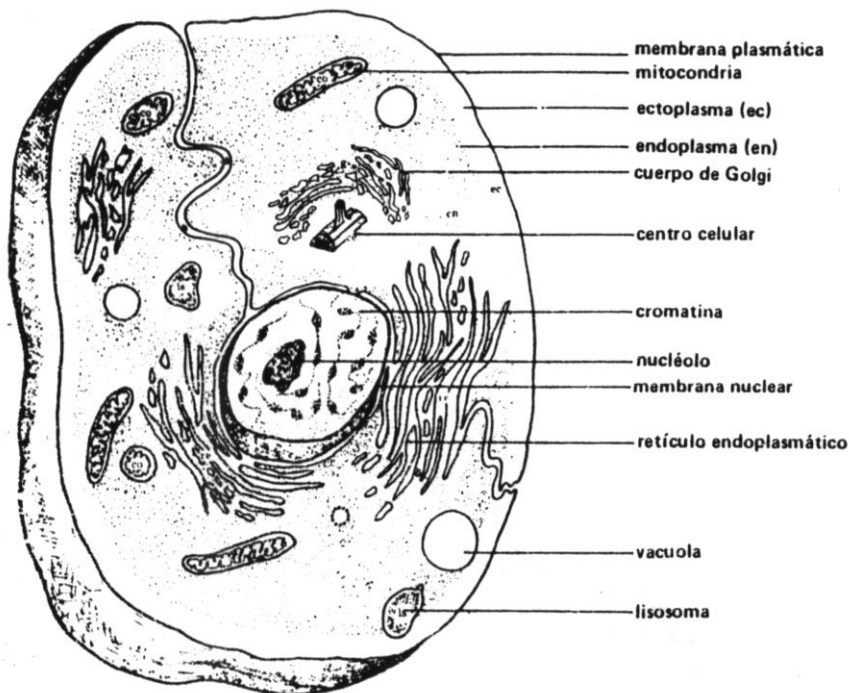
La membrana plasmática puede sufrir múltiples variaciones en relación con los diversos procesos fisiológicos. En algunas células presenta modificaciones como poros, vellosidades, pestañas, cilios, etc.

### Funciones:

- Limita y protege la célula.
- Permite el paso de sustancias nutritivas por ósmosis y en forma selectiva, haciéndose permeable o semipermeable, según las necesidades de la célula. Por eso es una parte viva y funcional, de extrema importancia para regular el contenido celular.
- Permite la penetración y eliminación de sustancias ( absorción y excreción, respectivamente)

## CITOPLASMA

Constituye la parte fundamental del protoplasma. Es una masa que rodea al núcleo y constituye la mayor parte de la célula.



## Estructura de la Célula humana

### Estructuras

Gracias al microscopio electrónico, sabemos que el citoplasma posee una organización compleja y que contiene diversas estructuras especializadas.

Esas estructuras son de dos tipos: los orgánoides o elementos constantes del citoplasma, y las inclusiones o elementos no constantes.

### ORGANOIDES

Son elementos que se encuentran en forma constante, cumplen un importante papel en la vida celular y no pueden faltar en la célula, entre ellos podemos citar las mitocondrias, el retículo endoplasmático, el aparato reticular de Golgi, el centrosoma, los lisosomas y las fibrillas.

#### ➤ Mitocondria

Son corpúsculos membranosos con una organización interna definida pero compleja, que se encuentran dispersos en el citoplasma. También reciben el nombre de aparato mitocondrial o condrioma.

Son orgánoides redondeados o alargados, limitados por una doble membrana, químicamente igual a la membrana plasmática.

La membrana interna emite hacia el interior unas crestas de longitud, forma y orientación variable (crestas

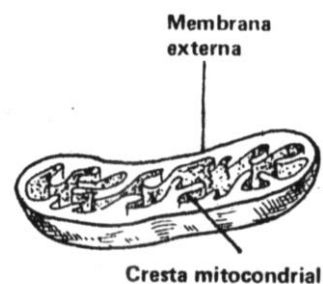


Fig. A. Mitocondria en sección longitudinal.

mitocondriales).

Contienen numerosas enzimas, representando bioquímicamente “la central eléctrica que proporciona a la célula la energía necesaria para su funcionamiento” además de las enzimas, acumulan proteínas, lípidos, compuestos metabólicos, etc.

Generalmente se encuentran en la parte del citoplasma con mayor actividad metabólica.

### **Funciones:**

1. Su función principal es la de transformar la energía química, liberándola, acumulándola o potencializándola. Gracias a las crestas mitocondriales, la superficie de reacción química es enorme.
2. Intervienen en el metabolismo (=transformación) de los hidratos de carbono, ácidos grasos y aminoácidos.

En la mitocondria hay reserva de O<sub>2</sub> (oxígeno).

#### ➤ **Enzimas**

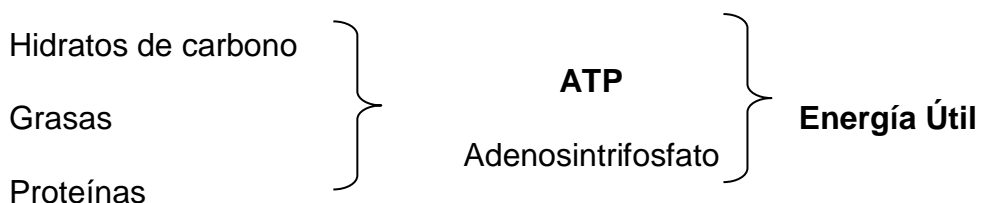
Son Catalizadores biológicos. Y su función, en la Mitocondria, es la de convertir en energía útil a todos los alimentos.

La energía útil es el ATP (adenosintrifosfato), es la forma inmediatamente utilizable de energía química para la actividad muscular. Ésta se almacena en todas las células del cuerpo, por lo tanto también en las musculares. Esta energía es proporcionada por los alimentos que comemos, pero éstos, antes de ser utilizados por el músculo, deben ser transformados en ATP.

La producción de ATP es un complejo de moléculas llamadas adenosina y tres componentes más simples, los grupos fosfágenos. Los 2 últimos producen un alto nivel de energía química.

Para poder realizar un trabajo, se rompe el enlace de los fosfatos, y emite energía para que le célula realice el trabajo.

Los materiales para su resíntesis provienen de los productos de descomposición, que son el adenosindifosfato y el fosfato inorgánico. La energía necesaria para le resíntesis, proviene de tres series que se producen en nuestro cuerpo, 2, de los alimentos que comemos y otro, un compuesto químico llamado fosfocreatina.



#### ➤ **Retículo Endoplasmático**

Es una red de canales y vesículas localizadas en el citoplasma, adquiriendo mayor desarrollo en el endoplasma ( de ahí deriva su nombre). La membrana que limita a los componentes de este sistema es químicamente similar a la membrana plasmática.

Algunos poseen una superficie lisa y uniforme: es el retículo endoplasmático liso o granular, mientras que otros presentan una superficie rugosa porque en su cara externa se adhieren partículas llamadas ribosomas o gránulos de Palade, en honor a su descubridor. En el retículo endoplasmático rugoso o granular se lleva a cabo la síntesis de proteínas.

Las enzimas que intervienen en todos los procesos químicos de las células son proteínas formadas por los lisosomas.

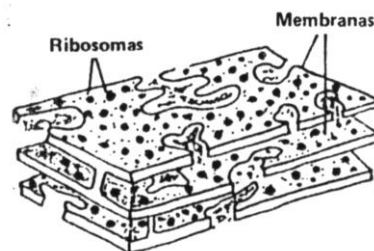


Fig. B. Ultraestructura del retículo endoplasmático granular.

### **Funciones**

- Transporta y distribuye dentro de la célula las sustancias elaboradas por ésta.
- Origina las membranas nucleares y plasmáticas de las células hijas.

#### ➤ **Aparato de Golgi**

Este organoide, que se ubica cerca del núcleo, fue observado por Golgi en 1898 en células nerviosas.

En su estructura intervienen vacuolas y vesículas, que se comunican permanentemente o temporalmente con la membrana nuclear y con el retículo endoplasmático, con el que se confundía hasta la invención del microscopio electrónico.

### **Funciones**

- Participa en la acumulación de productos elaborados por la célula.
- Selecciona los materiales que le va a entregar a los lisosomas.
- Forma sustancias de secreción y le agrega azúcares y lípidos a lo que ya formaron los ribosomas. ( Proteínas).

#### ➤ **Centro celular o centrosoma**

Visto con el microscopio electrónico presenta una granulación central llamada centríolo, rodeado de una zona clara o microcentro y de una zona densa o centrófera, de la que parten irradiaciones llamadas áster. Cada centríolo se asemeja a un cilindro, formado a su vez por cilindros más pequeños.

- Interviene activamente en la mitosis o división de células, para la reproducción celular.

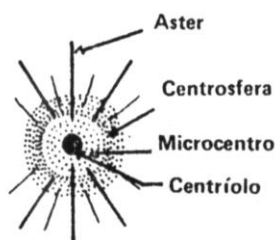


Fig. C. Centro celular visto con el microscopio óptico.

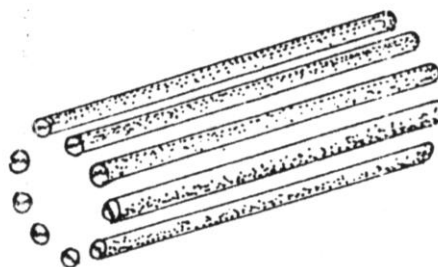


Fig. D. Esquema de un centriolo visto con microscopio electrónico (cilindro formado por nueve tubulos).

## INCLUSIONES

Son los elementos no constantes o transitorios que se encuentran suspendidos en el citoplasma. Carecen de estructura y composición química definida, porque su origen es muy variado.

Pueden ser productos de excreción y secreción, pigmentos sintetizados por el organismo (hemoglobina, bilirrubina, melanina), sustancias de reserva (almidón, glucógeno, grasas, aceites), material fagocitado, sustancias anormales acumuladas (polvo de carbón, depósitos de hierro) o sustancias alimenticias almacenadas (grasas de las células adiposas)

Las inclusiones se diferencian de los organoides porque no forman parte de la materia viva o protoplasma y no son esenciales para la vida.

### Los elementos no constantes son:

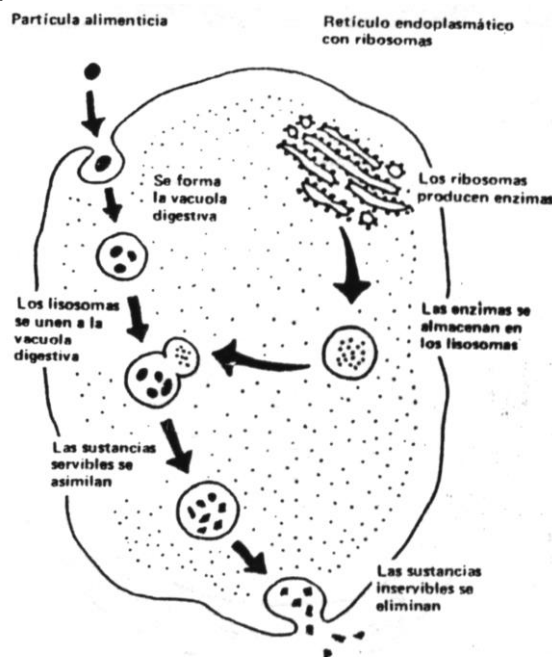
- Hidratos de carbono ( Glucosas)
- Proteínas ( Aminoácidos)
- Grasas (Ácidos grasos)
- Productos de secreción o excreción: Melanina, bilirrubina.

### Lisosomas

Son organoides de morfología variable, que contienen fermentos o enzimas que intervienen en los procesos de digestión celular, como ocurre, por ejemplo, en la fagocitosis. Contienen enzimas y pueden ser:

- Primarios: vacíos
- Secundarios: contienen sustancias proteicas

Le llaman el basurero de la célula, porque cuando ingresa una sustancia la absorbe y lo que no sirve lo elimina.



### Núcleo o carioplasma

Es constante en todas las células vivientes. Rige la actividad celular e interviene directamente en funciones anabólicas (de crecimiento) y de reproducción. Fue descubierto por Robert Brown, en 1831.

**Forma.**

- Es variable, pero la más frecuente es la esférica.

**Ubicación.**

- Generalmente se encuentra en el centro de la célula, donde existe mayor actividad.

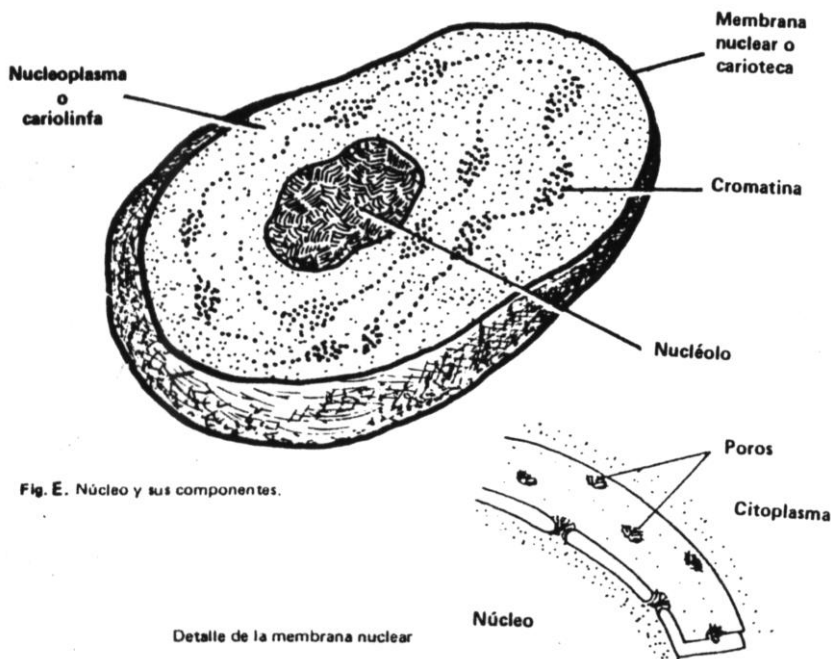
**Estructura.**

- Externamente presenta una membrana nuclear o carioteca, que regula la entrada y salida de sustancias, al mismo tiempo que la separa del citoplasma. Esa membrana es doble y presenta poros que servirían para el paso de las sustancias entre el núcleo y el citoplasma.

En su interior se encuentra un jugo incoloro llamado cariolinfa o **núcleoplasma**, que baña los filamentos de cromatina, sustancia que tiñe con los colorantes habituales (hematoxilina), y el **nucléolo**, que es un corpúsculo esférico y brillante, que interviene en la síntesis de las proteínas.

Lo rodea una membrana nuclear, que es de 2 capas una externa y la otra interna.

Nucleoplasma : Es un líquido que baña a los Filamentos de Cromatina.



**COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL PROTOPLASMA**

<b>Sustancias Inorgánicas</b> 75%	<b>Sustancias Orgánicas</b> 25%
70% de Agua	Hidratos de Carbono
5% de Iones Minerales (sales)	Grasas, Proteínas, Azúcares
	Ácidos Nucleicos

El protoplasma es la materia viviente, y se encuentra en estado coloidal, es decir que no se disuelve en agua.

Está constituido por sustancias inorgánicas del reino mineral, y por sustancias orgánicas, provenientes del reino de los seres vivos.

Entre las sustancias inorgánicas, predomina el agua, en 70% del contenido celular, y 5% de iones minerales. El 25% restante lo forman compuestos orgánicos de diversos tipos, como proteínas, azúcares, grasas y ácidos nucleicos.

## **AGUA**

Es el mayor componente del contenido celular, aunque varía según el tejido que se analice. Así, por ejemplo, en las células óseas existe un 22% y en las renales un 82%. También decrece su porcentaje con la edad, el embrión de 6 semanas posee un 97,5% de agua y el hombre adulto 63%.

El 95% del agua está libre, y el 5% restante se encuentra ligado a proteínas.

### **Función:**

- ◆ es termorreguladora
- ◆ es solvente de sales con carga eléctrica
- ◆ transporta sustancias nutritivas y de desechos
- ◆ interviene en las reacciones químicas.

## **IONES MINERALES**

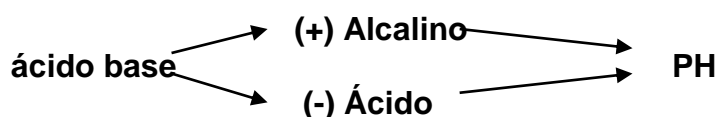
El protoplasma contiene una variedad de sales minerales, entre las que podemos citar el sodio, el potasio, el calcio, el magnesio, el hierro, etc. Además de los efectos específicos de cada una de estas sales, son importantes porque mantienen las relaciones osmóticas del protoplasma con el medio.

Los iones minerales son sales con carga eléctrica:

- Cationes +: Calcio, potasio, sodio y magnesio, son positivos.
- Aniones - : Bicarbonato, fosfato y cloro, son negativos.

Las sales sirven para regular la presión osmótica, o sea el pasaje de una sustancia desde un medio de mayor presión a otro de menor presión.

Regula el estado Ácido-base



## **SUSTANCIAS ORGÁNICAS**

### **Proteínas (CHON)**

Son moléculas cuaternarias, macro moléculas. Constituyen las moléculas más grandes y más complejas que se encuentran en la célula.

Están formadas por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, siendo este último su elemento característico.

Son esenciales e irremplazables en la constitución del protoplasma, puesto que representan sus componentes estructurales: membranas de organoides, cromosomas, ribosomas, jugo nuclear, etc. Además intervienen en la composición de las enzimas, por lo que están relacionadas con todo los procesos químicos que ocurren en la célula.

#### Funciones:

1. Productoras de Energía ATP.
2. Función Estructural o plástica
3. Función Enzimática.

### **Hidratos de Carbono (CHO)**

Son moléculas ternarias que a diferencia de las proteínas no tienen NITRÓGENO.

Los hidratos también llamados AZÚCARES, CARBOS, CARBOHIDRATOS, son sustancias ternarias porque están formadas por tres elementos: Carbono, Hidrógeno y Oxígeno. Como ejemplos podemos mencionar los azúcares y los almidones. En nuestro cuerpo se encuentra en cantidad apreciable un azúcar simple, llamado glucosa, que es un hidrato de carbono indispensable en la sangre. Como la glucosa no podría almacenarse en la célula, porque sus moléculas son pequeñas y escaparían por difusión a través de la membrana plasmática, se convierten en glucógeno, que se almacena en el hígado y en los músculos.

Los hidratos de carbono se reservan en las plantas como almidón y en los animales como glucógeno.

La glucosa es un azúcar simple que es utilizado por el organismo como la primera fuente de energía.

Los azúcares pueden ser simples o conjugados:

- ◆ Simples: Monosacáridos, Disacáridos, Polisacáridos. ( maltosa, fructosa, sacarosa, lactosa)
- ◆ Conjugados: Glucolípidos, Glucoproteínas.

Azúcares simples: Productora de ENERGIA.

Azúcares Conjugados: Estructural, Hormonal, Como defensa del organismo.

### **Grasas (CHO)**

Moléculas ternaria, formadas por CARBONO, HIDRÓGENO, OXÍGENO, aunque este último se presenta en menor cantidad, en relación con el CARBONO y el HIDRÓGENO, que en los carbohidratos.

Son de consistencia aceitosa o untuosa. Pueden ser, a temperaturas ordinarias (alrededor de los 20° c), sólidas como el sebo o líquida como el aceite de oliva.

Los lípidos pueden ser transformados por el organismo en grasa y almacenados como tales. El hombre necesita cierta cantidad de grasa en las células del panículo subcutáneo, porque le da firmeza a la piel. Los hidratos de carbono y las grasas constituyen las sustancias alimenticias almacenadas o de reserva.

No son solubles en agua, sino en solventes orgánicos y son la segunda fuente de energía del organismo.

- ◆ Grasas Simples: Glicéridos, Monoglicéridos, diglicéridos y triglicéridos.

- ◆ Grasas más complejas: Esteroides: Colesterol, Hormonas Sexuales, Ácidos Biliares.
- ◆ Grasas Conjugadas: Lipoproteínas, Fosfolípidos.

### Funciones:

1. Termoaislante.
2. Estructural.
3. Hormonal.

## Ácidos nucleicos

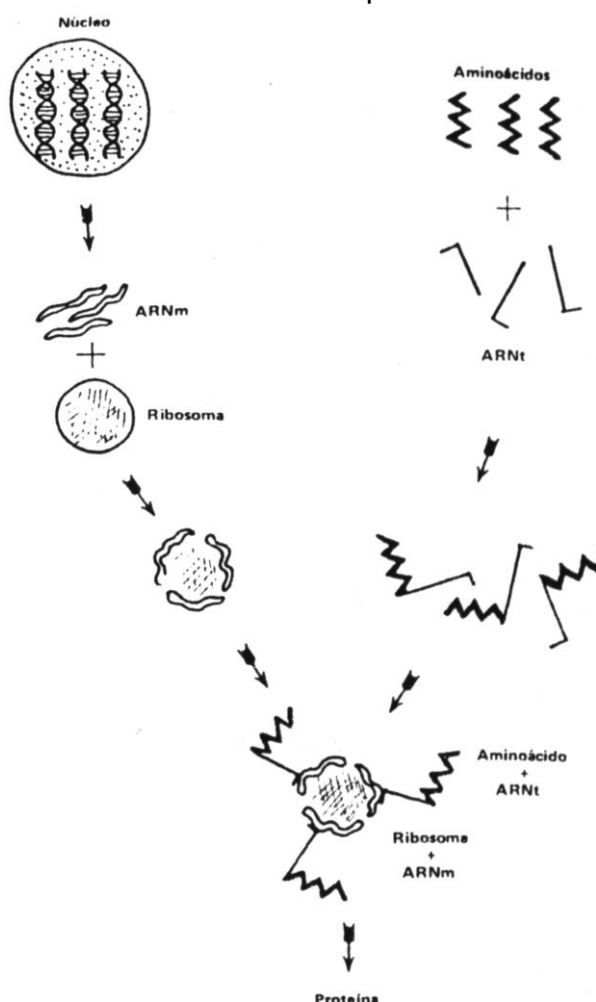
Fueron descubiertos por el bioquímico suizo Friedrich Meischer, en 1870, pero sólo en los últimos años se les otorgó importancia biológica.

Son moléculas grandes, macromoléculas complejas que contienen carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y fósforo. Tienen forma de cintas de gran longitud, donde se repite la misma estructura a intervalos regulares. Esas estructuras son las unidades de la cadena y se llaman **nucleótidos**. Cada nucleótido está formado por una molécula de ácido fosfórico y un azúcar simple al que se fija una estructura orgánica cíclica llamada base (ácido fosfórico- azúcar-base cíclica nitrogenada)

Según el azúcar que intervenga en su formación hay dos tipos diferentes de ácidos nucleicos: el **ácido ribonucleico** o ARN), cuyo azúcar es la ribosa, y el **ácido desoxirribonucleico** o ADN, en el que el azúcar es la desoxirribosa. Todas las células vivas, vegetales o animales, poseen ambos ácidos nucleicos, ARN y ADN, a diferencia de los virus, que contienen uno u otro, pero nunca ambos.

El ARN se encuentra en mayor cantidad en el citoplasma (90%), en general, bajo la supervisión del ADN. Es el encargado de conducir la **síntesis de las proteínas**: algunas de ellas se incorporan al protoplasma determinando el crecimiento de las células, y otras, las proteínas enzimáticas o enzimas, dirigen todas las reacciones químicas que se cumplan en ellas.

Existen distintos tipos de ARN con estructura, función y localización diferentes:



- El ARN **ribosómico** (ARNr), que constituye el 80% del total del ARN citoplasmático, forma parte de los ribosomas.
- Sirve de apoyo al ARN MENSAJERO y participa de la síntesis de las proteínas.
- El ARN **mensajero** (ARNm), que representa el 10% del ARN nuclear, lleva la información genética (codificada en el ADN) del núcleo al citoplasma atravesando los poros de la membrana nuclear.

Gráfico que resume la secuencia de pasos en la síntesis de las proteínas

- El **ARN de transferencia** (ARNt), que constituye el 10% del ARN citoplasmático, conduce los aminoácidos (materia prima para la elaboración de las proteínas) dispersos por el citoplasma hacia el lugar donde se cumple la síntesis de las proteínas.

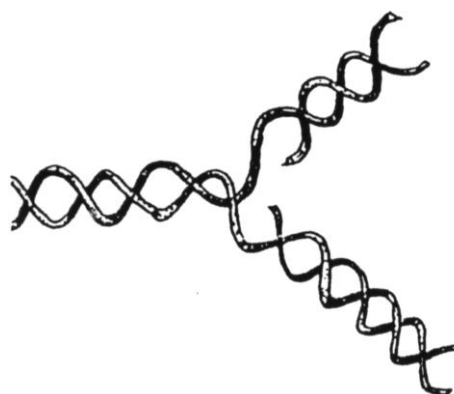
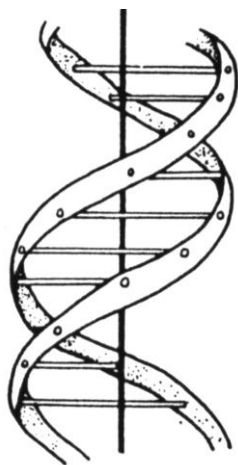
El ADN se localiza preferentemente en la cromatina o cromosoma del núcleo (99%) e interviene en la herencia, es decir, en la transmisión de los caracteres hereditarios de una generación a otra. Son largas moléculas construidas con miles de nucleótidos. En 1953, dos investigadores estadounidenses, James Watson y Francis Crick ( premios Nobel de Medicina 1962) representaron esquemáticamente el ADN como dos cintas helicoidales paralelas formadas por nucleótidos que se unen a los de las cadenas opuestas por puentes de hidrógeno.

El ADN se origina en otras moléculas de ADN por auto duplicación: durante la división celular las cintas se separan y cada una mantiene su integridad física formando una cadena complementaria. A su vez el ADN origina al ARN.

Los nucleótidos llevan codificados todos los caracteres psíquicos y físicos del nuevo individuo y constituyen la base química de los genes.

#### Otros nucleótidos

Además de los ácidos nucleótidos, en los seres vivos se encuentran otros nucleótidos simples de gran importancia biológica, como el ATP o adenosintrifosfato (o trifosfato de adenosina), molécula que al romperse libera gran cantidad de energía que es utilizada para cumplir diversos procesos biológicos.



*Molécula de ADN multiplicándose*

#### *Estructura esquemática de ADN*

*Las cintas paralelas representan los nucleótidos*

El ATP libera energía y se transforma en ADP o adenosindifosfato, que al asimilar energía, se convierte nuevamente en ATP. De tal modo, la función de estos nucleótidos es aceptar la energía liberada en algunos procesos y cedérsela a otros cuando es necesaria.

## **FUNCIONES DE LA CÉLULA**

Como la célula es una pequeña porción de materia viviente o protoplasma tiene que realizar los fenómenos necesarios para mantener su vida y perpetuarse. Según la finalidad que cumplan estos fenómenos vitales, se dividen en tres grupos:

1. Los que mantienen la vida celular: función de nutrición.
2. Los que la relacionan con el medio ambiente: función de relación.
3. Los que mantienen la especie mediante la propagación: Función de reproducción.

### **FUNCIÓN DE NUTRICIÓN**

La nutrición es la función básica de la vida, y consiste en el intercambio entre el organismo y el medio externo para mantener el equilibrio dinámico. Ese intercambio se lleva a cabo a través de la membrana plasmática o celular.

#### **Actividad de la membrana celular**

La presencia de esta membrana es indispensable en todas las células para que puedan desarrollar una vida propia. Como ya vimos, la membrana presenta una estructura trilaminar, es decir, formada por dos capas de proteína que encierran una doble capa de lípidos (proteína-lípido-proteína), y no es continua porque posee diminutos poros que facilitan el intercambio de sustancias con el medio.

Esta membrana no permite el paso de cualquier sustancia, sino que selecciona las que le son necesarias. Se dice que una membrana es “permeable” cuando permite el paso de cualquier sustancia, y que es “impermeable” cuando no permite el paso de ninguna sustancia. Si la membrana controla el ingreso y salida de las sustancias, como en el caso de la membrana celular, se dice que es semipermeable o de permeabilidad selectiva.

Las células vivas cumplen el transporte de sustancias gracias a dos fenómenos físicos: **difusión y ósmosis.**

La difusión es el desplazamiento de la moléculas que componen una sustancia, en forma homogénea y en todas direcciones por todo espacio disponible. Por ejemplo, cuando se deja caer un terrón de azúcar en un recipiente con agua sus moléculas se dispersan uniformemente. Si introducimos otra sustancia como por ejemplo sal, sus moléculas se dispersan independientemente de las anteriores.

La difusión de agua a través de una membrana permeable o semipermeable se denomina ósmosis, y la difusión de una sustancia disuelta recibe el nombre de diálisis. La ósmosis y la diálisis son dos formas de difusión.

## FISIOLOGÍA DEL EJERCICIO

### FUENTES ENERGÉTICAS

Los alimentos se componen principalmente de carbono, hidrógeno, oxígeno y, en el caso de las proteínas, nitrógeno. Los enlaces celulares en los alimentos son relativamente débiles y proporcionan poca energía cuando se descomponen. En consecuencia, los alimentos no se usan directamente para las operaciones celulares. En lugar de esto, en los enlaces de las moléculas de los comestibles, la energía se libera químicamente dentro de nuestras células, almacenándose luego en forma de un compuesto altamente energético denominado **trifosfato de adenosina (ATP)**.

**La formación de ATP da a las células los medios para almacenar y conservar energía en un compuesto altamente energético.**

En reposo, la energía que nuestro cuerpo necesita se obtiene casi por un igual de la descomposición de hidratos de carbono y de grasas. Las proteínas son los ladrillos con los que se construye nuestro cuerpo, proporcionando generalmente poca energía para la función celular. Al pasar de la realización de un esfuerzo muscular suave a otro agudo, se emplean progresivamente más hidratos de carbono, dependiendo menos de las grasas. En los ejercicios máximos de corta duración, el ATP se genera casi exclusivamente a partir de los hidratos de carbono.

### HIDRATOS DE CARBONO

La dependencia de nuestros músculos respecto a los hidratos de carbono durante el ejercicio está relacionada con la disponibilidad de hidratos de carbono y con que el sistema muscular esté bien desarrollado para su metabolismo. Los hidratos de carbono se convierten en última instancia en glucosa, un monosacárido (azúcar de una sola unidad) que es transportado por la sangre a los tejidos activos, donde se metaboliza.

Las reservas de glucógeno en el hígado y en los músculos son limitadas y pueden agotarse a menos que la dieta contenga una razonable cantidad de hidratos de carbono. Por lo tanto, dependemos fuertemente de nuestras fuentes dietéticas de almidones y azúcares para reponer nuestras reservas de hidratos de carbono. Sin una ingestión adecuada de ellos, los músculos y el hígado pueden quedar desprovistos de su principal fuente de energía.

### GRASAS

Las grasas y las proteínas también se usan como fuentes energéticas. Nuestro cuerpo acumula mucha más grasa que hidratos de carbono. Las reservas energéticas del cuerpo en grasas es mucho mayor que las de hidratos de carbono. Pero las grasas son menos accesibles para el metabolismo celular, porque primero deben ser reducidas desde su forma compleja (triglicéridos) a sus componentes básicos: glicerol y ácidos grasos libres. Sólo éstos se usan para formar ATP.

**Las reservas de hidratos de carbono en el hígado y en los músculos esqueléticos están limitadas a menos de 2.000 Kcal de energía, o el equivalente de la energía necesaria para correr aproximadamente 32 Km. Las reservas de grasa, no obstante, suelen superar las 70.000 Kcal de energía acumulada.**

Tal como se ve, se obtiene sustancialmente más energía de una cantidad determinada de grasa que de la misma cantidad de hidratos de carbono. No obstante, el ritmo de liberación de energía de estos compuestos es demasiado lento para satisfacer todas las demandas de energía de la actividad muscular intensa.

## **PROTEÍNAS**

El proceso por el que las proteínas o las grasas se convierten en glucosa recibe el nombre de gluconeogénesis. Alternativamente, las proteínas pueden convertirse, a través de una serie de reacciones, en ácidos grasos. Esto recibe el nombre de lipogénesis. Las proteínas pueden aportar entre el 5 y el 10% de la energía necesaria para mantener un ejercicio prolongado. Sólo las unidades más básicas de las proteínas (los aminoácidos) pueden usarse para obtener energía.



## RITMO DE LIBERACIÓN DE ENERGÍA

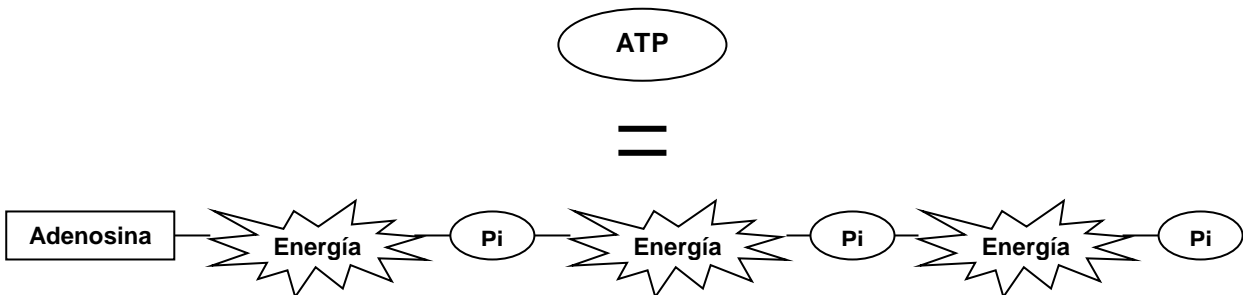
Para ser útil, la energía libre debe liberarse a partir de compuestos químicos a un ritmo controlado. Este ritmo viene parcialmente determinado por la elección de la fuente primaria de combustible. Grandes cantidades de un combustible determinado pueden hacer que las células dependan más de esta fuente que de otras alternativas. Esta influencia de la disponibilidad de energía recibe la denominación de efecto de acción de masa.

Enzimas específicas proporcionan un mayor control estructurado del ritmo de liberación de energía libre. Muchas de estas proteínas especiales facilitan la descomposición (catabolismo) de los compuestos químicos. Aunque los nombres de las enzimas son muy complejos, todos acaban con el sufijo **-asa**. Por ejemplo, una enzima importante que actúa sobre el ATP se llama **adenosintrifosfatasa (ATPasa)**.

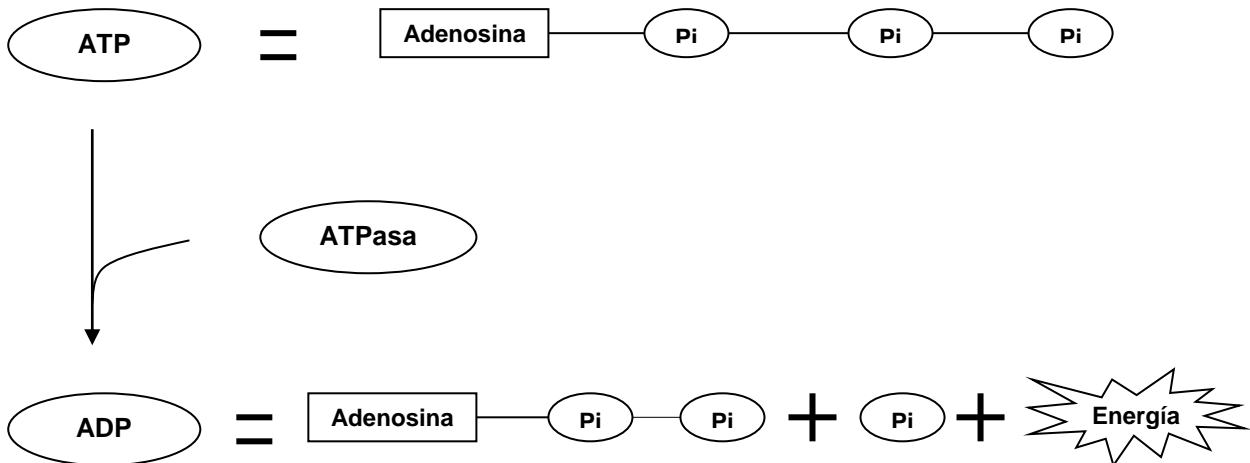
Ahora que tenemos las fuentes energéticas, podemos mirar como se almacena esta energía.

## BIOENERGÉTICA: PRODUCCIÓN DE ATP

a)



b)



a) Composición estructural de una molécula de ATP, mostrando los enlaces de fosfato de alta energía, y b) liberación de energía

Una molécula de ATP se compone de adenosina (una molécula de adenina unida a una molécula de ribosa) combinada con tres grupos fosfatos (Pi) inorgánicos. Cuando la enzima ATPasa actúa sobre ellos, el último grupo fosfato se separa de la molécula ATP, liberando rápidamente una gran cantidad de energía (7,6 kcal/mol de ATP). Esto reduce el

ATP a ADP (**difosfato de adenosina**) y Pi. ¿Pero cómo se acumuló originalmente esta energía?

El proceso de almacenaje de energía formando ATP a partir de otras fuentes químicas recibe el nombre de fosforilación. Mediante varias reacciones químicas, un grupo fosfato se añade a un compuesto relativamente bajo en energía, el difosfato de adenosina (ADP), convirtiéndose en trifosfato de adenosina (ATP). Cuando estas reacciones se producen sin oxígeno, el proceso recibe el nombre de **metabolismo anaeróbico**. Cuando estas reacciones tienen lugar con la ayuda de oxígeno, el proceso global se denomina **metabolismo aeróbico**, y la conversión aeróbica de ADP en ATP es la fosforilación oxidativa.

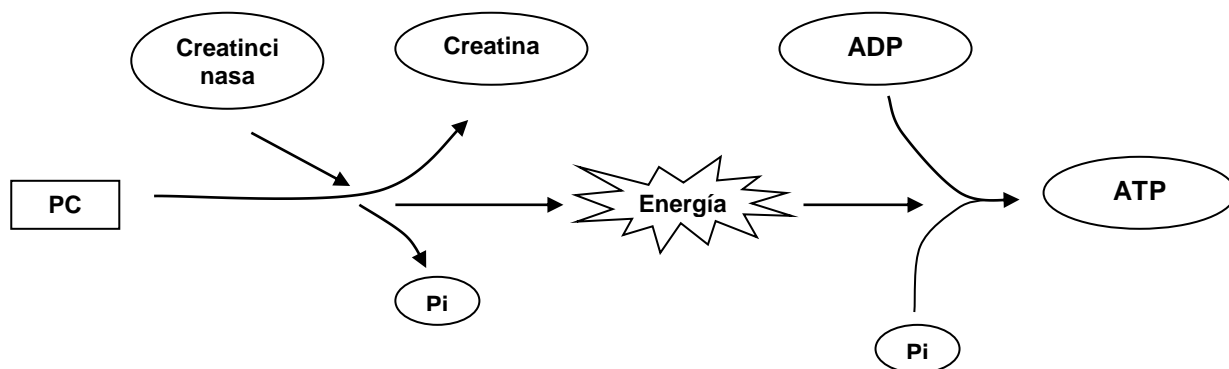
Las células generan ATP mediante tres métodos:

- El sistema ATP-PC
- El sistema glucolítico
- El sistema oxidativo

## SISTEMA ATP-PC

El más sencillo de los sistemas energéticos es el **sistema ATP-PC**. Además del ATP, nuestras células tienen otra molécula de fosfato altamente energética que almacena energía. Esta molécula se llama **fosfocreatina** o PC (llamada también **fosfato de creatina**). A diferencia del ATP, la energía liberada por la descomposición del PC no se usa directamente para realizar trabajo celular. En vez de esto, reconstruye ATP para mantener un suministro relativamente constante.

La liberación de energía por parte del PC es facilitada por la enzima creatincinasa (CK), que actúa sobre el PC para separar el Pi de la creatina. La energía liberada puede usarse entonces para unir Pi a una molécula de ADP, formando ATP. En la siguiente figura se representa este proceso. Con este sistema, cuando la energía es liberada por el ATP mediante la división de un grupo fosfato, nuestras células pueden evitar el agotamiento del ATP reduciendo PC, proporcionando energía para formar más ATP.



### Mantenimiento de los niveles de ATP a partir de la energía acumulada en PC.

Este proceso es rápido y puede llevarse a cabo sin ninguna estructura especial dentro de la célula. Aunque puede ocurrir en presencia de oxígeno, este proceso no lo requiere, por lo cual se dice que el sistema ATP-PC es anaeróbico.

Durante los primeros pocos segundos de actividad muscular intensa, como puede ser el sprint, el ATP se mantiene a un nivel relativamente uniforme, pero el nivel de PC declina

de forma constante cuando se usa el compuesto para reponer el ATP agotado. Cuando se llega al agotamiento, no obstante, tanto el nivel de ATP como el de PC es muy bajo, y no pueden proporcionar energía para más contracciones y relajaciones.

Por lo tanto, nuestra capacidad para mantener los niveles de ATP con la energía del PC es limitada. Nuestras reservas de ATP y PC pueden mantener las necesidades de energía de nuestros músculos tan sólo de 3 a 15 s durante un sprint máximo. Más allá de este punto, los músculos deben depender de otros procesos para la formación de ATP: la combustión glucolítica y oxidativa de combustibles.

## SISTEMA GLUCOLÍTICO

SISTEMA ANAERÓBICO		
AREA METABÓLICA	ÁCIDO LÁCTICO (MILIMOLES)	FUENTE DE ENERGÍA
RESISTENCIA ANAERÓBICA 200 Puls.	8 - 12	GLUCÓGENO
TOLERANCIA ANAERÓBICA	12 - 18	GLUCÓGENO
POTENCIA ANAERÓBICA	16 - 24	GLUCÓGENO
VELOCIDAD	- 3	FOSFAGENO ATP - PC

Otro método de producción de ATP implica la liberación de energía mediante la descomposición (lisis) de la glucosa. Este sistema se llama **sistema glucolítico**, puesto que incluye el proceso de la **glucólisis**, que es la descomposición de la glucosa mediante las enzimas glucolíticas.

La glucosa es el 99% de la cantidad total de azúcares que circulan por la sangre. La glucosa de la sangre procede de la digestión de los hidratos de carbono y de la descomposición del glucógeno hepático. El glucógeno es sintetizado a partir de la glucosa por un proceso llamado glucogénesis. Se almacena en el hígado o en los músculos hasta que se necesita. En este momento, el glucógeno se descompone en glucosa-1-fosfato a través del proceso de la glucogenólisis.

Antes de que la glucosa o el glucógeno puedan usarse para generar energía, deben convertirse en un compuesto llamado glucosa-6-fosfato. La conversión de una molécula de glucosa requiere una molécula de ATP. En la conversión del glucógeno, se forma glucosa-6-fosfato a partir de glucosa-1-fosfato sin este gasto de energía. La glucólisis comienza una vez que se ha formado la glucosa-6-fosfato.

La glucólisis produce al final ácido pirúvico. Este proceso no requiere oxígeno, pero el uso de oxígeno determina el destino del ácido pirúvico formado por la glucólisis. Al referirnos al sistema glucolítico nos estamos refiriendo a los procesos de glucólisis cuando ocurre sin la intervención de oxígeno. En este caso, el ácido pirúvico se convierte en ácido láctico.

La glucólisis, que es mucho más compleja que el sistema ATP-PC, requiere 12 reacciones enzimáticas para la descomposición de glucógeno en ácido láctico. Todas estas enzimas operan dentro del citoplasma de las células. La ganancia neta de este proceso es de 3 moles de ATP formados por cada mol de glucógeno descompuesto. Si se usa glucosa en lugar de glucógeno, el beneficio es de sólo 2 moles de ATP porque se usa un mol para la conversión de glucosa en glucosa-6-fosfato.

Este sistema de energía no produce grandes cantidades de ATP. A pesar de esta limitación, las acciones combinadas de los sistemas ATP-PC y glucolítico permiten a los músculos generar fuerza incluso cuando el aporte de oxígeno es limitado. Estos dos sistemas predominan durante los primeros minutos de ejercicio de intensidad elevada.

Otra importante limitación de la glucólisis anaeróbica es que ocasiona una acumulación de ácido láctico en los músculos y en los fluidos corporales. En las pruebas de sprint máximo que duran entre 1 y 2 minutos, las demandas sobre el sistema glucolítico son elevadas, y los niveles de ácido láctico pueden incrementarse desde un valor en reposo de aproximadamente 1 mmol/kg de los músculos hasta más de 25 mmol/kg. Esta acidificación de las fibras musculares inhibe una mayor descomposición del glucógeno, porque dificulta la función enzimática glucolítica. Además, el ácido reduce la capacidad de combinación del calcio de las fibras e impide de este modo la contracción muscular.

**El ácido láctico y el lactato no son el mismo compuesto. El ácido láctico es un ácido con la fórmula química  $C_3H_6O_3$ . El lactato es cualquier sal de ácido láctico. Cuando el ácido láctico libera  $H^+$ , el compuesto restante se une con  $Na^+$  o  $K^+$  para formar una sal. La glucólisis anaeróbica produce ácido láctico, pero se disocia rápidamente y se forma la sal (lactato). Por esta razón, los términos se usan con frecuencia de modo intercambiable.**

El ritmo de utilización de energía de una fibra muscular durante el ejercicio puede ser 200 veces superior al ritmo de uso de energía en reposo. Los sistemas ATP-PC y glucolítico no pueden, por sí solos, satisfacer todas las necesidades de energía. Sin otro sistema de energía, nuestra capacidad para hacer ejercicio puede quedar limitada a unos pocos minutos. Vayamos al tercer sistema de energía.

## SISTEMA OXIDATIVO

<b>SISTEMA AERÓBICO</b>		
<b>ÁREA METABÓLICA</b>	<b>ÁCIDO LÁCTICO</b>	<b>FUENTE DE ENERGÍA</b>
<b>REGENERATIVO 120 Puls.</b>	<b>- 2</b>	<b>ÁCIDOS GRASOS LACTATO RESIDUAL</b>
<b>SUBAERÓBICO 140 Puls.</b>	<b>2 A 4</b>	<b>ÁCIDOS GRASOS LACTATO RESIDUAL</b>
<b>SUPERAERÓBICO 160 Puls.</b>	<b>4 A 6</b>	<b>GLUCÓGENO</b>
<b>VO<sub>2</sub> MÁXIMO 180 Puls.</b>	<b>6 A 10</b>	<b>GLUCÓGENO</b>

El sistema final de producción de energía celular es el **sistema oxidativo**. Éste es el más complejo de los tres Sistemas energéticos, pero evitaremos entrar en detalles molestos. El proceso mediante el cual el cuerpo descompone combustibles con la ayuda de oxígeno para generar energía se llama **respiración celular**. Dado que se emplea oxígeno, éste es un proceso aeróbico. Esta producción oxidativa de ATP se produce dentro de organelas especiales de la célula: las mitocondrias. En los músculos, son adyacentes a las miofibrillas y se hallan también distribuidas por el sarcoplasma.

Los músculos necesitan un aporte constante de energía para producir continuamente la fuerza necesaria durante las actividades de larga duración. A diferencia de la producción anaeróbica de ATP, el sistema oxidativo produce una tremenda cantidad de energía, por lo que el metabolismo aeróbico es el método principal de producción de energía durante las pruebas de resistencia. Esto impone considerables demandas a la capacidad del cuerpo para liberar oxígeno en los músculos activos.

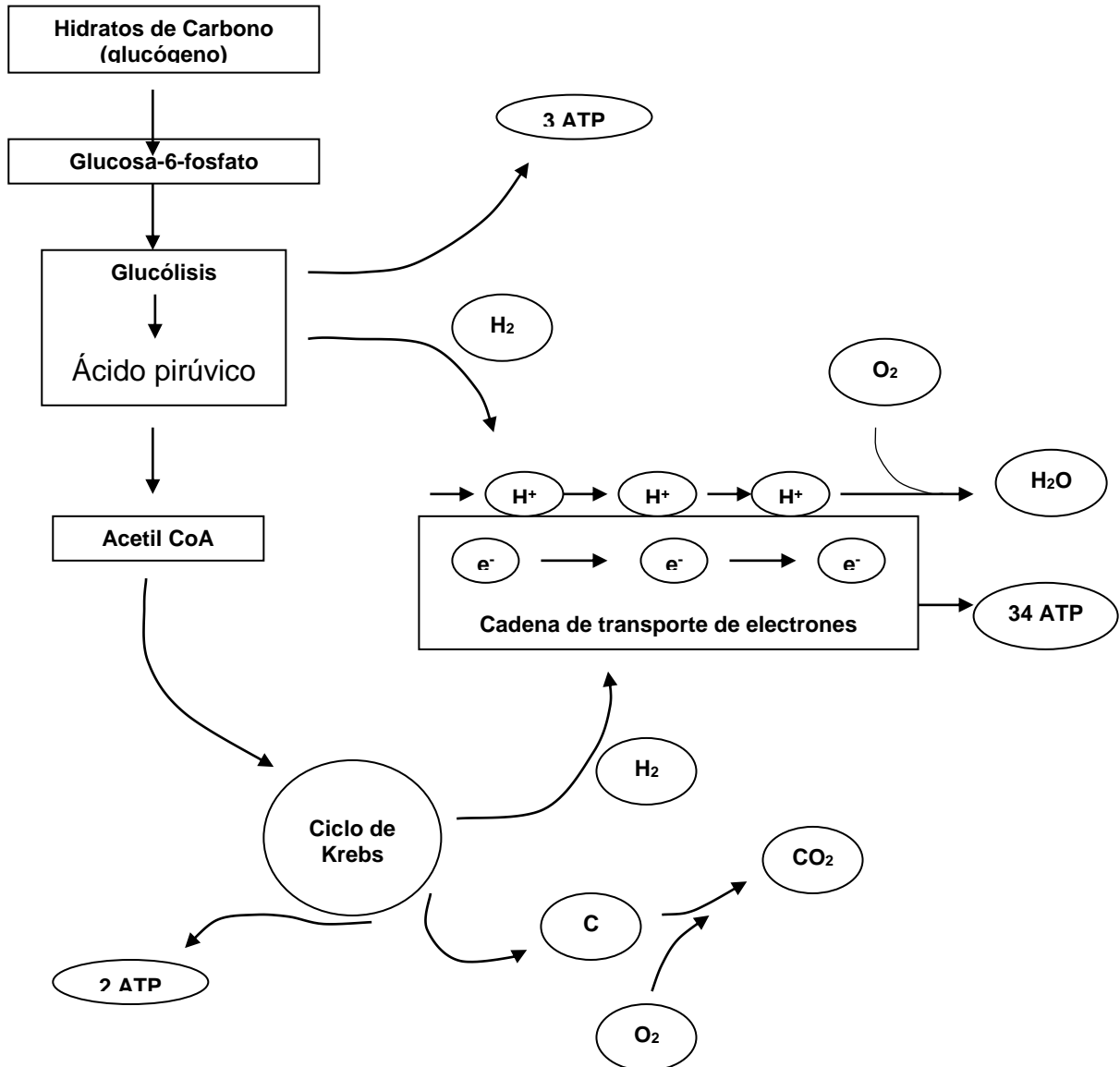
### **Oxidación de los hidratos de carbono**

La producción oxidativa de ATP abarca tres procesos:

- Glucólisis
- Ciclo de Krebs
- Cadena de transporte de electrones

**Glucólisis.** En el metabolismo de los hidratos de carbono, la glucólisis desempeña un cierto papel en la producción anaeróbica y aeróbica de ATP. El proceso de glucólisis es el mismo tanto si hay oxígeno presente como si no. La presencia de oxígeno determina solamente el destino del producto final: el ácido pirúvico. Recordemos que la glucólisis anaeróbica produce ácido láctico y solamente 3 moles de ATP por mol de glucógeno. No obstante, en presencia de oxígeno, el ácido pirúvico se convierte en un compuesto llamado **acetilcoenzima A (acetil CoA)**.

**Ciclo de Krebs.** Una vez formado, el acetil CoA entra en el **ciclo de Krebs** (ciclo del ácido cítrico), una serie compleja de reacciones químicas que permiten la oxidación completa del acetil CoA. Al final del ciclo de Krebs, se han formado 2 moles de ATP y el sustrato (el compuesto sobre el que actúan las enzimas – en este caso los hidratos de carbono originales-) se ha descompuesto en carbono y en hidrógeno. El carbono restante se combina entonces con oxígeno para formar dióxido de carbono. Este CO<sub>2</sub> se difunde fácilmente fuera de las células y es transportado por la sangre hasta los pulmones para ser espirado.



## Oxidación de los hidratos de carbono

### Cadena de transporte de electrones

Durante la glucólisis, se libera hidrógeno mientras se metaboliza la glucosa, convirtiéndose en ácido pirúvico. Durante el ciclo de Krebs se libera más hidrógeno. Si permanece en el sistema, el interior de la célula se vuelve demasiado ácido. ¿Qué le sucede a este hidrógeno?

El ciclo de Krebs va unido a una serie de reacciones conocidas como la cadena de transporte de electrones. El hidrógeno liberado durante la glucólisis y durante el ciclo de Krebs se combina con dos coenzimas: NAD (nicotinamida-adenín-dinucleótido) y FAD (flavo-adenín-dinucleótido). Éstas llevan los átomos de hidrógeno hacia la cadena de transporte de electrones, donde se dividen en protones y electrones. Al final de la cadena, el H<sup>+</sup> se combina con oxígeno para formar agua, impidiendo así la acidificación.

Los electrones separados del hidrógeno pasan por una serie de reacciones, de aquí el nombre de **cadena de transporte de electrones**, y finalmente proporcionan energía para la fosforilación de ADP, formando así ATP. Puesto que este proceso precisa oxígeno, recibe la denominación de fosforilación oxidativa.

### Producción de energía a partir de los hidratos de carbono

El sistema oxidativo de producción de energía puede generar hasta 39 moléculas de ATP a partir de una molécula de glucógeno. Si el proceso comienza con glucosa, el beneficio neto es de 38 moléculas de ATP (recordemos que antes de que la glucólisis comience se usa una molécula de ATP para convertirla en glucosa-6-fosfato).

### Oxidación de los hidratos de las grasas

Tal como se ha indicado antes, las grasas también contribuyen a las necesidades energéticas de los músculos. Las reservas de glucógeno en el hígado y en los músculos pueden proporcionar solamente de 1.200 a 2.000 kcal de energía, pero la grasa almacenada dentro de las fibras musculares y en nuestras células grasas pueden proporcionar entre 70.000 y 75.000 kcal.

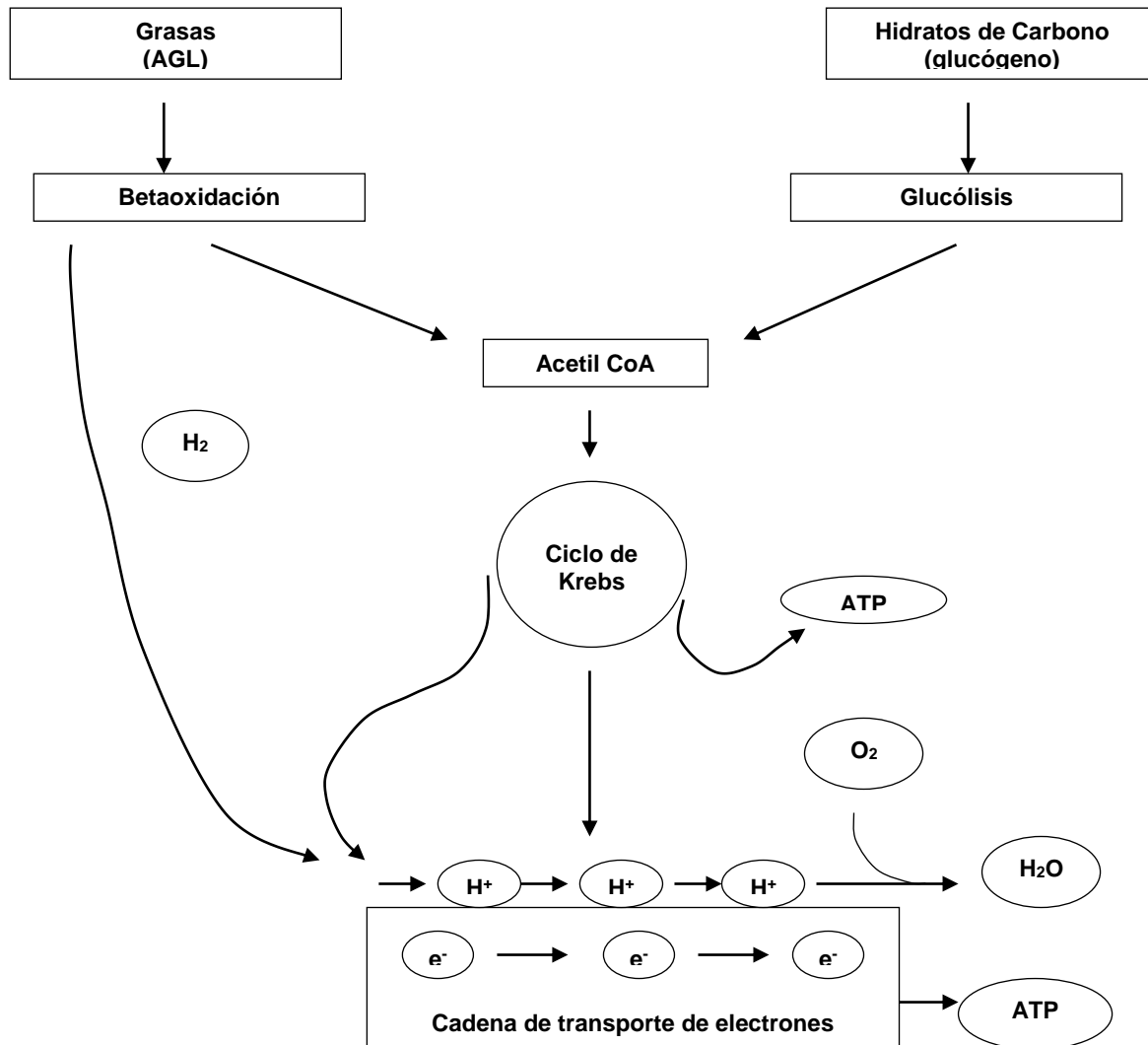
Aunque muchos compuestos químicos (tales como los triglicéridos, los fosfolípidos y el colesterol) se clasifican como grasas, sólo los triglicéridos son fuentes energéticas importantes. Los triglicéridos se almacenan en las células grasas y en las fibras musculares esqueléticas. Para usar su energía, los triglicéridos deben descomponerse en sus unidades básicas: una molécula de glicerol y tres moléculas de ácidos grasos libres. Este proceso se llama lipólisis, y lo llevan a cabo unas enzimas conocidas como lipasas. Los ácidos grasos libres (AGL) son la fuente energética principal, por lo que centraremos nuestra atención en ellos.

Una vez liberados del glicerol, los ácidos grasos libres pueden entrar en la sangre y ser transportados por el cuerpo, entrando en las fibras musculares por difusión. Su ritmo de entrada en las fibras musculares depende del grado de concentración. El aumento de la concentración de ácidos grasos libres en sangre los impulsa hacia las fibras musculares.

### Betaoxidación

Aunque los diversos ácidos grasos libres en el cuerpo difieren estructuralmente, su metabolismo es esencialmente el mismo. Al entrar en las fibras musculares, los ácidos grasos libres son activados enzimáticamente con energía del ATP, preparándolos para el catabolismo (descomposición) dentro de las mitocondrias. Este catabolismo enzimático de las grasas por las mitocondrias recibe la denominación de **betaoxidación (oxidación β)**.

En este proceso, la cadena de carbono de un ácido graso libre es dividida en unidades 2-carbono separadas de ácido acético. Por ejemplo, si un ácido graso libre tiene una cadena 16-carbono, la betaoxidación produce 8 moléculas de ácido acético. Cada molécula de ácido acético se convierte entonces en acetil CoA.



**El metabolismo de las grasas y el de los hidratos de carbono comparten algunos caminos comunes**

### Ciclo de Krebs y cadena de transporte de electrones

A partir de este punto, el metabolismo de las grasas sigue el mismo camino que el de los hidratos de carbono. El acetil CoA formado por betaoxidación entra en el ciclo de Krebs. Éste genera hidrógeno, que es transportado hacia la cadena de transporte de electrones, junto con el hidrógeno generado durante la betaoxidación, para sufrir la fosforilación oxidativa. Como en el metabolismo de la glucosa, los productos de deshecho de la oxidación de los ácidos grasos libres son el ATP, el H<sub>2</sub>O y el CO<sub>2</sub>. No obstante, la combustión completa de una molécula de ácidos grasos libres requiere más oxígeno porque contiene considerablemente más carbono que una molécula de glucosa.

**Aunque las grasas proporcionan más kcal de energía por gramo que los hidratos de carbono, la oxidación de las grasas requiere más oxígeno que la de los hidratos de carbono. La producción de energía a partir de las grasas es 5,6 moléculas de ATP por molécula de oxígeno usada, en comparación con la producción por parte de los hidratos de carbono de 6,3 moléculas de ATP por molécula de oxígeno. El aporte de oxígeno se ve limitado por el sistema de transporte de oxígeno, por lo que los hidratos de carbono son el combustible preferido durante la realización de ejercicios de elevada intensidad.**

La ventaja de tener más carbono en los ácidos grasos libres que en la glucosa es que se forma más acetil CoA a partir del metabolismo de una cantidad determinada de grasa, por lo que entra más en el ciclo de Krebs y se envían más electrones a la cadena de transporte de electrones. Ésta es la razón por la que el metabolismo de las grasas puede generar mucha más energía que el metabolismo de la glucosa.

Consideremos el ejemplo del ácido palmítico, un ácido graso libre 16-carbono más bien abundante. Las reacciones combinadas de oxidación, el ciclo de Krebs y la cadena de transporte de electrones producen 129 moléculas de ATP a partir de una molécula de ácido palmítico, comparado con sólo 38 moléculas de ATP a partir de la glucosa o 39 a partir del glucógeno. Aunque esta producción parece bastante elevada, sólo aproximadamente el 40% de la energía liberada por el metabolismo de las moléculas de glucosa o de ácidos grasos libres es capturado para formar ATP. El restante 60% es liberado como calor.

## Fundamentos biológicos sobre el desarrollo y la manifestación de la fuerza

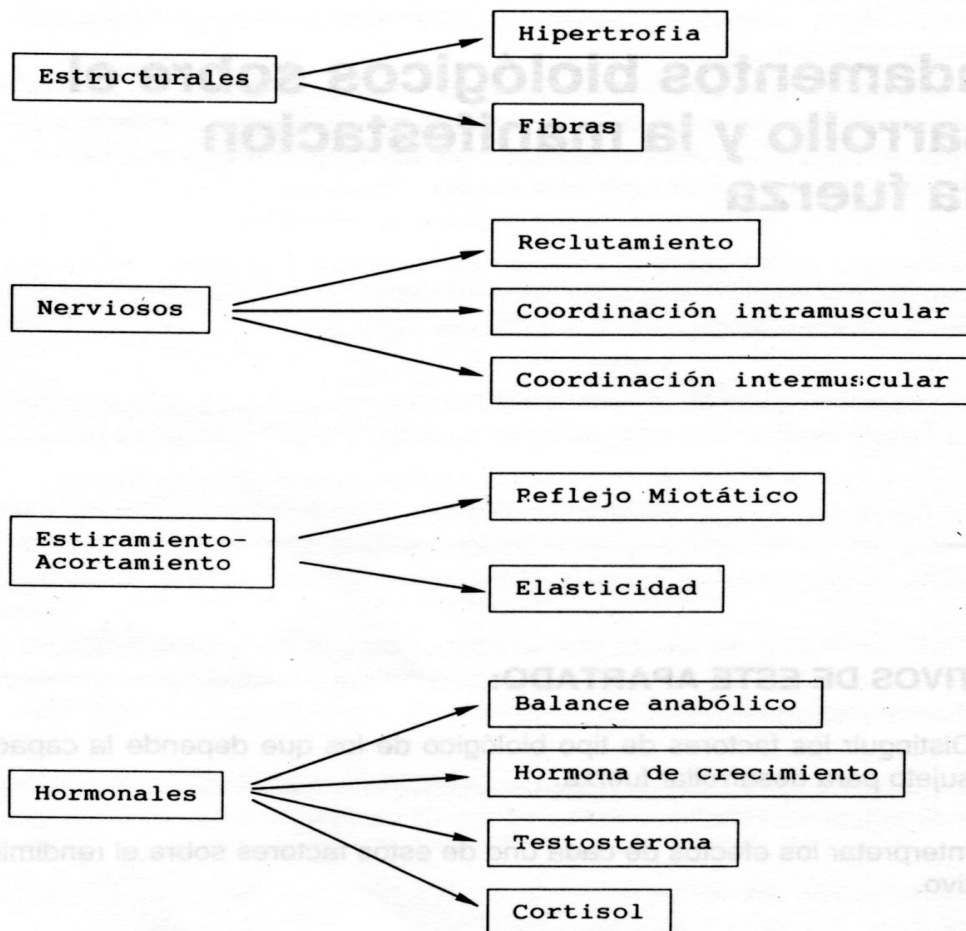
### Objetivos:

1-Distinguir los factores de tipo biológico de los que depende la capacidad de un sujeto para desarrollar fuerza.

2-Interpretar los efectos de cada uno de estos factores sobre el rendimiento deportivo.

La capacidad de un sujeto para desarrollar fuerza depende de distintos factores. La figura muestra un esquema de dichos factores que son de cuatro tipos.

- Estructurales o relacionados con la composición del músculo.
- Nerviosos, relacionados con las unidades motoras.
- Los relacionados con el ciclo estiramiento-acortamiento.
- Hormonales.



Desarrollaremos este esquema, basado en el trabajo de Cometti (1988), que es, a su vez, una síntesis de todos los trabajos de la literatura científica internacional.

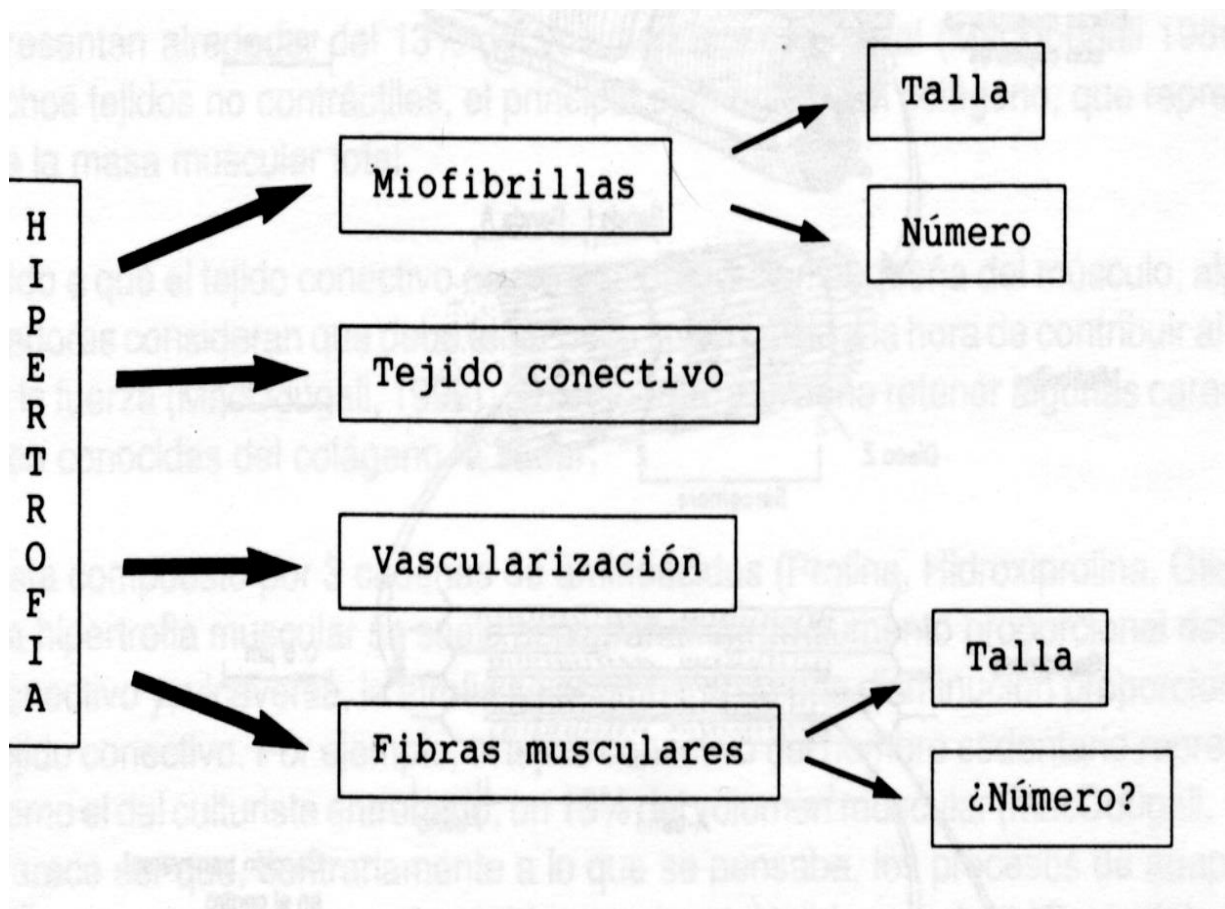
## Factores estructurales del desarrollo de la fuerza

Comprende dos tipos de factores:

- La hipertrofia.
- Las fibras musculares.

### La hipertrofia o aumento del tamaño del músculo

Es un hecho conocido que los sujetos que presentan un grosor muscular más grande son los que tienen mayor fuerza. Esto se ha demostrado estudiando en poblaciones muy heterogéneas la relación existente entre el grosor o sección muscular y la fuerza isométrica máxima de un músculo (Ikay, 1968).



Cuando se realizan estudios longitudinales analizando, por ejemplo, los efectos de unas semanas de entrenamiento de fuerza en una población determinada, se observa que la ganancia de fuerza es superior al aumento de la masa muscular. Esto permite pensar que no sólo la hipertrofia contribuye a la mejora de la fuerza, sino que existen además otros factores:

- Aumento del número y la talla de las miofibrillas.
- Aumento del tamaño del tejido conectivo y otros tejidos no contráctiles del músculo.
- Aumento de la vascularización.
- Aumento del tamaño y, probablemente, del número de fibras musculares.

## 1. El aumento de la talla y el número de miofibrillas

Investigaciones realizadas en músculo humano permiten pensar que la hipertrofia producida por el entrenamiento de la fuerza se acompaña generalmente de un aumento tanto del tamaño como del número de las miofibrillas (MacDougall, 1986).

El aumento del tamaño de las miofibrillas podría ser debido, según MacDougall (1986), a una adición de filamentos de actina y de miosina en la periferia de las miofibrillas.

El aumento en el número de miofibrillas es más complejo y se conoce menos. El mecanismo, que podría ser muy parecido al que ocurre en el niño en las primeras semanas de vida, se puede resumir del siguiente modo: la miofibrilla se iría adaptando en primer lugar aumentando de tamaño, hasta que alcanza un nivel crítico determinado de tamaño y de fuerza a partir del cual las contracciones musculares sucesivas provocan microrrupturas de las bandas Z de las miofibrillas. A partir de estas microrrupturas, se forman dos "miofibrillas hijas" que tienen la misma longitud de sarcómero.

El aumento en el número de miofibrillas contribuye en mayor medida a la Hipertrofia que el aumento del tamaño (Goldspink, 1970-74)

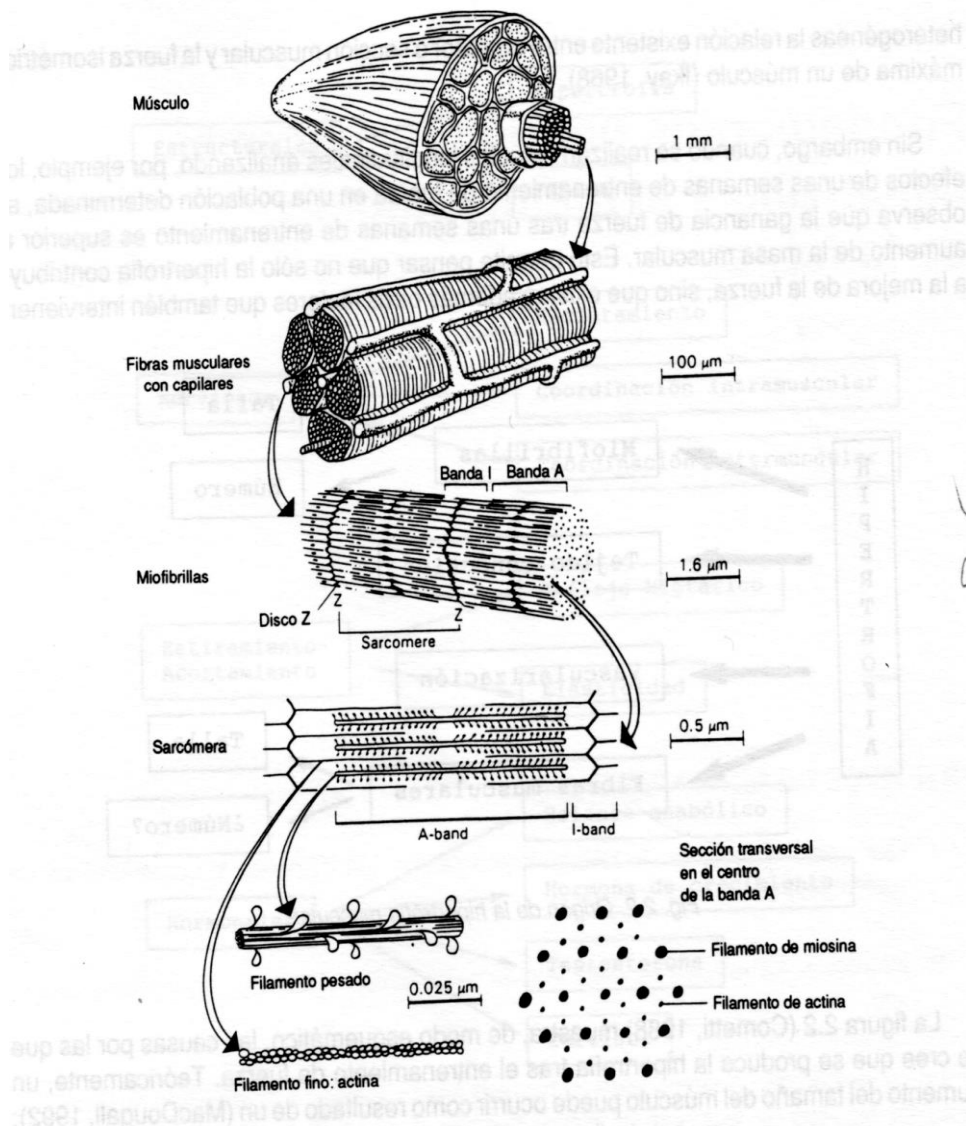


Fig. 3. Estructura del músculo desde su aspecto macroscópico hasta su nivel molecular. Cada **fibra muscular** (célula) contiene unas proteínas contráctiles, llamadas **miofibrillas**, que son estriadas. Cada estriación contiene unos filamentos finos de **Actina** y otros gruesos de **Miosina** que están ordenados en unidades contráctiles llamadas **Sarcómeros**. Los capilares rodean las fibras musculares (a partir de Billeter, 1992)

## 2. El aumento del tejido conectivo

Además del tejido contráctil, el músculo está formado por otros tejidos no contráctiles, que representan alrededor del 13% del volumen muscular total (Mac Dougall 1984). De entre dichos tejidos no contráctiles, el principal elemento es el colágeno, que representa el 7% de la masa muscular total.

Debido a que el tejido conectivo ocupa una proporción pequeña del músculo, algunos investigadores consideran que debe tener poca importancia a la hora de contribuir al desarrollo de la fuerza (Mac Dougall, 1992). Sin embargo, conviene retener algunas características poco conocidas del colágeno, a saber:

- ◆ Está compuesto por 3 cadenas de aminoácidos (Prolina, Hidroxiprolina, Glicina).
- ◆ La hipertrofia muscular suele acompañarse de un aumento proporcional del tejido conectivo y viceversa, mientras que la atrofia se acompaña de una disminución proporcional del tejido conectivo. Por ejemplo, el tejido conectivo del hombre sedentario representa, como el del culturista entrenado, un 13% del volumen muscular (Mac Dougall, 1984).
- ◆ Parece ser que, contrariamente a lo que se pensaba, los procesos de adaptación del tejido conectivo son más rápidos que los del tejido contráctil (Goldspink, 1992).

## 3. El aumento de la vascularización

Numerosos estudios han demostrado que los capilares que rodean el músculo, expresados bien sea en número por fibra muscular o en número de capilares por mm<sup>2</sup> de superficie muscular, aumentan después de varias semanas de entrenamiento de resistencia aeróbica (Saltin, 1983). Por eso, los atletas entrenados en resistencia aeróbica presentan una mayor densidad capilar que los sedentarios (Saltin, 1983).

Hemos visto anteriormente que el entrenamiento de fuerza suele acompañarse de hipertrofia muscular. Si dicha hipertrofia muscular no fuese acompañada de la formación de nuevos capilares sanguíneos proporcional al aumento de la talla del músculo, la densidad capilar disminuiría en el músculo hipertrofiado (Tesch, 1992). Los estudios realizados con halterófilos y fisicoculturistas por Tesch (1984) y Dudley (1986) permiten pensar que distintos tipos de entrenamiento de fuerza tienen distintos efectos en la vascularización del músculo. Así, por ejemplo, Tesch (1984), observó que los halterófilos de élite tenían el mismo número de capilares por fibra muscular que los sedentarios. Si tenemos en cuenta que el tamaño del músculo en los halterófilos es muy superior al de los sujetos sedentarios, esto implica que la densidad capilar (número de capilares por mm<sup>2</sup> de superficie del músculo) es menor en los halterófilos. Esto permite pensar que el entrenamiento de halterofilia no se acompaña de una proliferación o formación de nuevos capilares en el músculo.

Las características de la densidad capilar de los halterófilos, que se suelen entrenar con cargas de intensidad casi máxima (80-100%) y con pocas repeticiones, parecen ser

muy distintas de las de los culturistas, que se suelen entrenar empleando cargas más ligeras (70% de 1 RM), con muchas repeticiones, hasta el agotamiento. En efecto, los culturistas suelen tener casi el doble de capilares por fibra muscular que los halterófilos (Dudley, 1986). Esto puede ser el reflejo de una proliferación o formación de nuevos capilares sanguíneos como consecuencia del entrenamiento “de hipertrofia”, típico del culturista. Sin embargo, la densidad capilar (número de capilares por mm<sup>2</sup>) del culturista es inferior a la del sujeto sedentario. Esto indicaría que la formación de nuevos capilares debido al entrenamiento del culturista es proporcionalmente menor que la hipertrofia muscular que presenta.

Por último, algunos autores han observado que la disminución de la densidad capilar provocada por el entrenamiento de fuerza se acompaña también de una disminución de la densidad del volumen de las mitocondrias de la fibra muscular (MacDougall, 1979). Esto podría explicar, por una parte, los bajos contenidos en enzimas oxidativas encontrados en los músculos de los atletas que practican disciplinas de fuerza y, por otra parte, la inconveniencia de favorecer la hipertrofia muscular en los atletas que practiquen disciplinas de fondo (Tesch, 1992).

#### **4. El aumento de la talla y del número de fibras musculares**

Hemos visto con anterioridad que el aumento de la talla y del número de las miofibrillas contribuye a la hipertrofia muscular. Teniendo en cuenta que las miofibrillas constituyen el componente más importante del volumen total de las fibras musculares, es evidente que las fibras musculares aumentan de tamaño.

Como en el caso de las miofibrillas, la hipertrofia de las fibras musculares podría deberse a dos razones:

- Un aumento en la talla de las fibras musculares.
- Un aumento en el número de las fibras musculares (hiperplasia).

En lo que respecta a la talla de las fibras musculares, numerosos estudios han observado un aumento de la talla de las fibras musculares después de un período de entrenamiento de fuerza. (Thorstenson, 1976) (Mac Dougall, 1980) (Hákkinen, 1981 a). La magnitud de este aumento varía considerablemente dependiendo del entrenamiento previo del sujeto y, sobre todo, de la intensidad y la duración del entrenamiento (Mac Dougall, 1992). En general, se puede afirmar que el aumento de tamaño suele afectar de modo preferente a las fibras de tipo II (Thorstenson, 1976) (Mac Dougall, 1980), aunque las fibras de tipo I suelen aumentar de tamaño pero en menor proporción (Hákkinen, 1981). El aumento de tamaño de las fibras de tipo I se manifiesta especialmente en el entrenamiento de culturismo ej.: 10 x 10 RM, y cuando la duración del entrenamiento de fuerza supera las 12-16 semanas (Hákkinen, 1981 a).

No podemos dar actualmente una respuesta definitiva en lo que respecta a si la hipertrofia muscular provocada por el entrenamiento de fuerza se acompaña o no de un aumento en el número de las fibras musculares (hiperplasia). Los argumentos experimentales que permiten pensar que pudiera existir una hiperplasia de las fibras musculares son los siguientes:

- Se sabe que en el hombre el mayor contribuyente del crecimiento del músculo desde antes del nacimiento hasta el primer año de vida es el aumento en el número de fibras musculares (Goldspink, 1974). Este fenómeno, que no se observa en el adulto sedentario, podría muy bien ser del mismo tipo del que se produce tras el entrenamiento de fuerza (Mac Dougall, 1992).

- En los años 70 algunos investigadores encontraron, trabajando con animales, que el aumento del grosor del músculo que ocurría tras un entrenamiento de fuerza se acompañaba de un aumento del número de fibras musculares (Reitsma, 1969) (Hall Craggs 1970) (Solá, 1973). Aunque algunos de estos trabajos han sido criticados por la metodología experimental que emplearon (Gollnick, 1981), posteriores estudios más precisos en su metodología realizados con animales han confirmado la existencia de hiperplasia en las fibras musculares tras el entrenamiento de fuerza (Gonyea, 1986) (Alway, 1989).

El mecanismo por el que se produce la hiperplasia de las fibras musculares en animales es desconocido. Sin embargo se considera que podría estar causado por la activación de las “células musculares satélite” como consecuencia del entrenamiento de fuerza. Estas “células satélite”, descritas por Mauro (1961), son células de reserva no funcionales que se encuentran en el exterior de la membrana plasmática de la fibra muscular pero en el interior de la lámina basal. Cuando un ejercicio o una sesión de entrenamiento produce un daño celular en el músculo, se observa una proliferación de “células satélite” (Schultz, 1989) que pueden reemplazar a las células dañadas (en el caso de que el daño haya sido tan grande que las células lesionadas mueran) o bien fusionarse con dichas células (en el caso de que el daño celular haya sido grande pero no hayan muerto). En este último caso, existiría un aumento del número de fibras.

En esta hipótesis, la hiperplasia se estimularía solamente tras aquellos entrenamientos que dañasen ligeramente a las células musculares sin provocar su muerte. Este leve daño estimularía a las “células satélite” que, además de reparar el daño, a crear nuevas células musculares. Sin embargo, estas teorías, aunque encajan muy bien con la teoría de los procesos de adaptación debidos al entrenamiento, son meras especulaciones.

En lo referente a la existencia de hiperplasia en el hombre, no existen en la actualidad argumentos experimentales que permitan confirmarla.

### **Las fibras musculares**

Las fibras musculares son las células de los músculos esqueléticos y tienen como función la de generar fuerza. Billeter, (1992) mostraba de modo esquemático la estructura del músculo esquelético. En ella se observa que las fibras musculares, células anchas (50 mm.) Y largas (hasta 10 cm) con cientos de núcleos, están compuestas en el 80% de su volumen por miofibrillas.

Las miofibrillas tienen un diámetro de 1-2 mm. Y una longitud generalmente similar a la de la fibra muscular. A su vez, cada miofibrilla está compuesta por una serie de unidades contráctiles llamadas sarcómeros constituidas por filamentos finos y pesados colocados en el plano longitudinal y situadas entre los llamados discos Z, que tienen una longitud aproximada de 2.5 cm.

La contracción muscular se produce cuando los sarcómeros se contraen al deslizarse los filamentos pesados entre los filamentos finos. Esto provoca el acercamiento de los discos Z entre sí y el consiguiente acortamiento de los sarcómeros que conlleva a la contracción del músculo (Billeter, 1992).

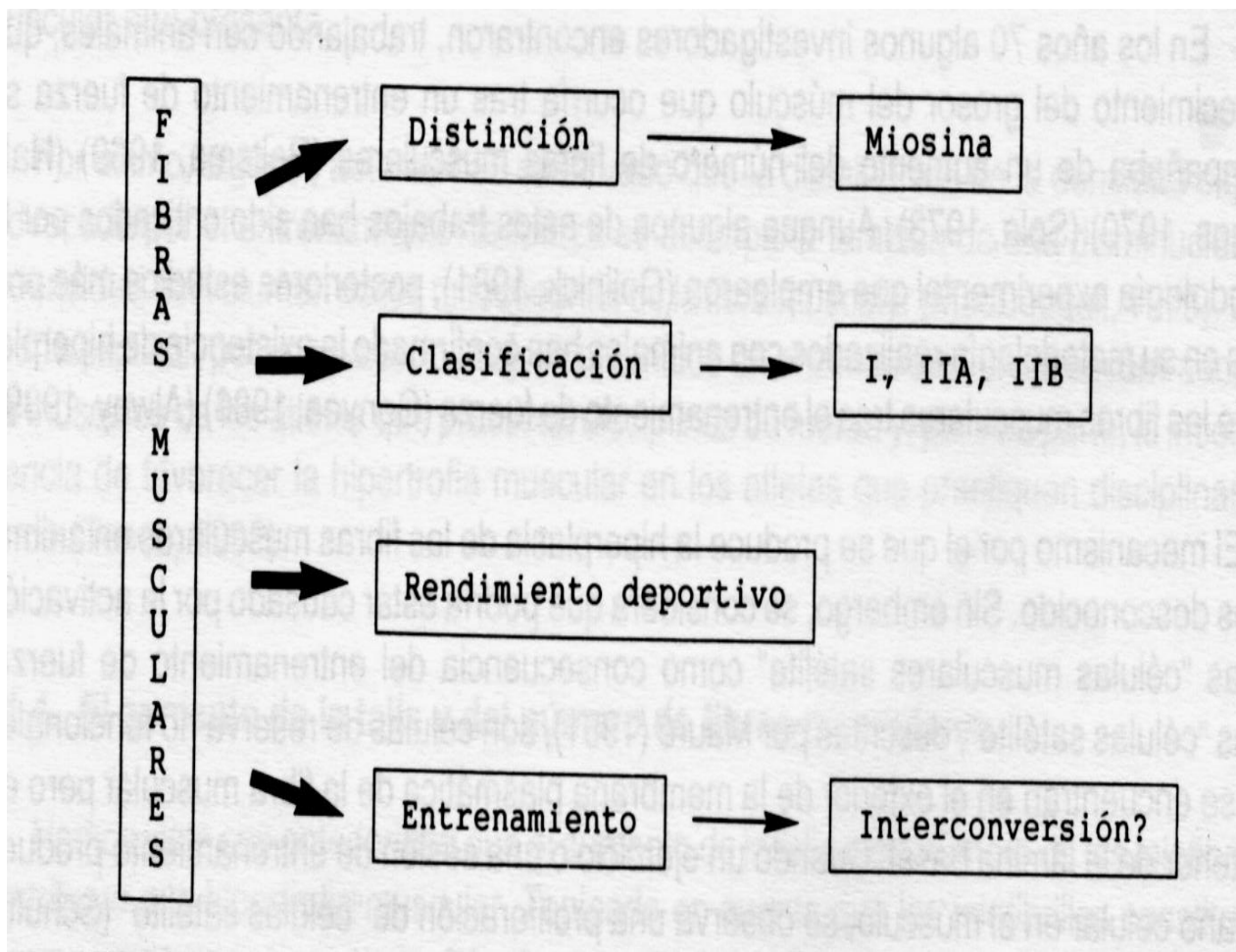


Fig. 4 esquema de los mecanismos de adaptación de las fibras musculares (distintos de la hipertrofia)

### 1. Distinción: isoformas de la miosina

Los filamentos pesados de los sarcómeros están formados principalmente por una proteína, la **miosina**, mientras que los filamentos finos están formados principalmente por otra proteína llamada **actina** (Fig. 3) (Billeter, 1992).

El extremo libre de la molécula de miosina es el lugar clave del músculo que genera la fuerza necesaria para la contracción muscular. En efecto, en dicho extremo o cabeza de la miosina, se encuentra la molécula de **ATP** que, en presencia de **Calcio**, se hidroliza en **ADP y Pi** (fosfato inorgánico) y proporciona la energía necesaria para que la cabeza de la miosina interaccione con el filamento de actina, se produzca el acortamiento de los sarcómeros y, por consiguiente, la contracción muscular.

La miosina de cada fibra muscular no tiene exactamente la misma composición química y estructura (Billeter, 1992) sino que existe en diferentes formas moleculares que varían sólo ligeramente entre ellas. A cada una de estas formas moleculares de la miosina se les llama isoformas.







La clasificación de las fibras musculares se realiza en función de las isoformas de la miosina.

### Clasificación de las fibras musculares

La clasificación de las fibras musculares depende del tipo de miosina (isoforma) que tengan sus sarcómeros. Por ejemplo, la miosina que es capaz de hidrolizar rápidamente el ATP (unas 600 veces por segundo) se denomina miosina rápida. La miosina que sólo puede hidrolizar ATP unas 300 veces por segundo se denomina miosina lenta (Howald, 1984). Por último, se distingue una isoforma de la miosina que puede hidrolizar el ATP a una velocidad intermedia entre la miosina “rápida” y la “lenta” (Howald, 1984).

La diferencia en la velocidad de producción de energía entre la miosina lenta y la rápida se traduce en que las fibras musculares que contienen miosina rápida se contraen más rápidamente (tiempo: 40-90 ms) que las fibras musculares que contienen miosina lenta (tiempo de contracción de 90-140 ms). Esta diferencia en la velocidad de contracción y de producción de energía de las fibras musculares que contienen uno u otro tipo de miosina, es la que ha dado origen a la clasificación de las fibras musculares en **rápidas (IIB)**, **intermedias (IIA)** y **lentas (I)** (Billeter, 1992). El método que se emplea para clasificar a las fibras musculares consiste en estudiar la tinción histoquímica de una porción de músculo extraído por medio de una punción-biopsia. Para más detalles se puede consultar a Billeter 1992.

Muestra de modo esquemático algunas características de las fibras musculares. En la figura se puede observar que las fibras I (lentas) se diferencian de las fibras IIB (rápidas) en que tienen una velocidad de contracción más lenta (más de 100 ms. en vez de 40-80 ms), producen menos fuerza, tienen una mayor vascularización y capacidad oxidativa, se fatigan menos, utilizan como sustratos energéticos predominantes los glúcidos y lípidos por la vía aeróbica, en vez de la vía anaeróbica, su tamaño es más pequeño y tienen un menor número de miofibrillas en cada fibra muscular.

Características	Tipo I	Tipo IIA	Tipo IIB
Denominación	Lentas	Rápidas	Rápidas
Tensión muscular			
Vascularización			
Fatigabilidad (índice)	0.8-1.2	0-0.8	
Glúcidos	+++	+++	+
Lípidos	+++	+	-
ATPasa	+	++	+++
Mioglobina	+++	++	+
Talla de una fibra	+	++	+++
Número de miofibrillas por fibra	+	++	+++
Tiempos de contracción	99-140 ms	40-88 ms	

Las fibras musculares IIA, presentan características de velocidad de contracción, de capacidad oxidativa y de fatigabilidad intermedias entre las fibras I y las fibras IIB.

Por último conviene señalar que las fibras musculares que pertenecen a una misma unidad motora (que están inervadas por el mismo nervio motor) tienen esencialmente las mismas propiedades y el mismo tipo de isoforma de miosina. A su vez, las unidades motoras que inervan las fibras rápidas tienen una mayor velocidad de conducción del nervio motor y una mayor frecuencia de descarga del impulso eléctrico que las unidades motoras que inervan a las fibras lentas. Por consiguiente, la diferencia entre las fibras musculares no sólo ocurre en el ámbito de cada fibra muscular sino que también es específica de la motoneurona que las inerva (Cometti, 1988) (Billeter, 1992).

### **Fibras musculares y rendimiento deportivo**

La proporción de los diferentes tipos de fibras musculares de un músculo determinado varía de un sujeto a otro. Hemos visto que las fibras musculares rápidas (IIB) se caracterizan con respecto a las lentas (I), en que producen más fuerza, se contraen más rápida-

mente y se fatigan antes.

A partir de estos datos es lógico pensar que aquellos deportistas que practiquen disciplinas intensas, rápidas, de corta duración y que necesiten emplear mucha fuerza Ej. :sprinters, saltadores, halterófilos deberían presentar un mayor porcentaje de fibras rápidas en los músculos que intervienen en el ejercicio que los deportistas que practican disciplinas poco intensas, de larga duración y que necesitan emplear poca fuerza.

Los deportistas que presentan un mayor porcentaje de fibras rápidas se suelen caracterizar por producir más fuerza a cualquier velocidad de movimiento (lento o rápido) que los que presentan un menor porcentaje de fibras rápidas (Thortensson, 1977). Por último, Bosco (1979) ha estudiado la evolución de la producción de fuerza durante el test de salto vertical en estudiantes de Educación Física que presentan distintos porcentajes de fibras rápidas en el músculo vasto externo del cuádriceps. Se observa que los sujetos con más de 60% de fibras II en el vasto externo producen más fuerza y en menos tiempo que los sujetos que tienen menos del 40% de fibras II. Esto significa que los sujetos que presentan más fibras rápidas tienen un salto vertical mayor (36.7 cm) que los sujetos que tienen menos fibras rápidas (33.8 cm) (Bosco 1979b).

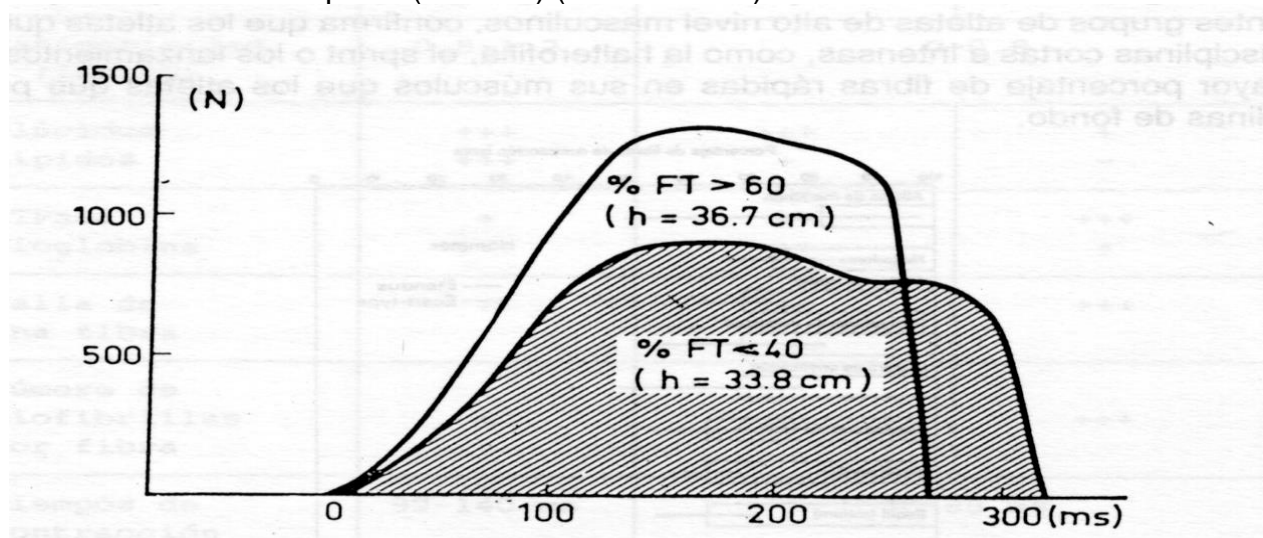


Fig. 6 Relación fuerza-tiempo registrada en una plataforma de fuerza durante el salto vertical sin contramovimiento previo (SJ) en dos grupos de sujetos: uno (n=10) con más del 60% y el otro (n=9) con menos del 60% de fibras rápidas en el músculo vasto externo. Las curvas son significativamente diferentes (a partir de Bosco, 1979b).

Otra diferencia existente entre sujetos que presentan distintos porcentajes de fibras rápidas está relacionado con el número máximo de repeticiones que se pueden realizar al 40% de una repetición máxima (1 RM).

Hickson (1994) encontró, en sujetos sanos sedentarios, una relación inversa significativa entre el número de repeticiones que se podían realizar hasta el agotamiento en media sentadilla al 40% de 1 RM (con una cadencia de ejecución de 13 repeticiones por minuto) y el porcentaje de fibras rápidas del músculo vasto lateral del cuádriceps. Por ejemplo, observó que los sujetos que tienen más de un 60% de fibras II en el vasto externo, pueden realizar de 35 a 40 repeticiones al 40% de 1 RM, mientras que los sujetos que tienen menos del 40% de fibras II pueden realizar más de 60-70 repeticiones a esa misma intensidad.

### **Estos datos nos Llevan a dos reflexiones de tipo práctico:**

- 1) El conocimiento de la composición de las fibras musculares de un sujeto puede ser interesante a la hora de elegir la disciplina deportiva más adecuada.
- 2) El test de salto vertical, o el del número de repeticiones al 40% de 1 RM, pueden dar una idea indirecta del porcentaje de fibras musculares rápidas y lentas que tiene el vasto externo de un grupo de sujetos.

### **Efecto del entrenamiento en la transformación de las fibras musculares**

Una cuestión fundamental referente a las fibras musculares es si el entrenamiento puede transformar un tipo de fibra muscular en otro tipo (Cometti, 1988). Existen algunos hallazgos experimentales que permiten pensar que las fibras musculares lentas tienen capacidad potencial para transformarse en fibras rápidas y viceversa. Estos hallazgos son los siguientes (Cometti, 1988):

La diferenciación de las fibras musculares que se observa en los primeros años de vida humana. La evolución de la proporción de las fibras musculares en el feto y en el 1 er año de vida del niño. Se observa que desde la 10.a semana de gestación hasta la semana 21, todas las fibras musculares son indiferenciadas (IIC). Las primeras fibras de tipo I aparecen hacia la semana 21 de gestación y las primeras de tipo II hacia la semana 32. La diferenciación finaliza en el 1 er año de vida del niño. Parece lógico pensar que este origen común de las fibras musculares y su diferenciación en la edad infantil deberían permitir una transformación de unas fibras musculares en otras en función del estímulo específico al que se les someta.

◆ El hallazgo experimental más concluyente son los trabajos realizados en el animal, que muestran que trasplantando a unas fibras musculares rápidas un nervio de una unidad motriz que inerva a fibras musculares lentas, el músculo rápido se transforma en un músculo lento. Y a la inversa, trasplantando un nervio motor que inerva una fibra rápida a un músculo lento, dicho músculo se transforma al cabo del tiempo en un músculo rápido. Esto demuestra que las fibras musculares tienen la capacidad potencial para transformarse entre sí, y que, por otra parte, parece ser que no son las características del músculo las que determinan las propiedades del mismo, sino las del nervio motor que lo inerva, las que determinan dichas propiedades (Mommaert, 1977).

A pesar de que los hallazgos anteriormente citados en el niño recién nacido y en el músculo aislado permiten pensar que pudiera haber transformación de fibras musculares entre sí, los resultados de los trabajos realizados en el hombre sobre los efectos de diferentes tipos de entrenamiento en la transformación de las fibras musculares no son tan concluyentes. En efecto, parece ser que el entrenamiento de resistencia aeróbica sí se acompaña de un aumento en la proporción de fibras I y, por consiguiente, de una disminución en la proporción de fibras musculares de tipo II (Green, 1984). Sin embargo, el entrenamiento de fuerza no parece acompañarse de la transformación inversa (fibras I en fibras II). Lo único que se ha observado ha sido un aumento del tamaño de las fibras II, pero no un aumento en el número de fibras II o una disminución del número de fibras I (Mac Dougall, 1986) (Gollnick, 1972) (Tesch, 1985) (Hickson, 1994).

Estudios recientes han encontrado que el entrenamiento de fuerza puede provocar transformaciones de fibras musculares (IIA) en fibras musculares (IIB) y viceversa (Adams, 1993) (Andersen, 1994) (Wang, 1993). Aunque los estudios al respecto son escasos, parece que la transformación de fibras (IIA) en (IIB) se produce con el

entrenamiento de fuerza máxima (Andersen, 1994T, mientras que la transformación inversa (de IIB a IIA) se produce con el entrenamiento de fuerza máxima por hipertrofia (Adams, 1993).

La razón por la cual en el hombre se ha observado transformación de fibras II en I, pero no de fibras I en II es desconocida. Algunos autores piensan que podría deberse a que cuando se realiza un entrenamiento de fuerza máxima, las fibras rápidas sólo están solicitadas durante 7 a 10 minutos al día, mientras que el resto del día los estímulos que recibe ese músculo son de tipo lento. Esta desproporción de estímulos en favor de los de tipo lento podría explicar la ausencia de transformación de fibras I en II (Howald, 1984).

### Aplicaciones prácticas

- ◆ El entrenamiento de fuerza que se acompaña de hipertrofia puede disminuir la resistencia aeróbica por disminución de la densidad capilar.
- ◆ El conocimiento del porcentaje de fibras musculares lentas y rápidas puede ser un buen criterio de selección. En ausencia de otros medios, el **test de salto vertical** nos puede dar una idea indirecta de dicho porcentaje.

## SÍNTESIS DE IDEAS FUNDAMENTALES

- Los factores estructurales del desarrollo de la fuerza son dos: la hipertrofia muscular y las características de las fibras musculares.
- La hipertrofia muscular se debe especialmente a un aumento en el número y en el tamaño de las miofibrillas. Esto se acompaña de un aumento en el tamaño, pero no en el número de las fibras musculares.
- El entrenamiento de fuerza, especialmente el de los culturistas y el de fuerza máxima, se acompaña de una disminución de la densidad capilar.
- Las fibras musculares se clasifican en lentas (I), rápidas (IIB) e intermedias (IIA), extendiendo a las características de la isoforma de la miosina, dependiente a su vez de las características del nervio motor que inerva a cada una.
- Las fibras musculares lentas (I) se diferencian con respecto a las rápidas (IIB), en que aquellas producen menor fuerza, más lentamente y son más resistentes.
- El entrenamiento de resistencia aeróbica se acompaña de una transformación de su II en fibras I. Sin embargo, el entrenamiento de fuerza no parece que transforme las fibras musculares I en II.

## **FACTORES NERVIOSOS DEL DESARROLLO DE LA FUERZA**

### **El orden de reclutamiento en movimientos explosivos.**

Hemos visto que los mecanismos de reclutamiento de las unidades motoras siguen el “principio del tamaño”, cuando se realizan contracciones isométricas submáximas progresivamente crecientes. Sin embargo, existen algunos argumentos que permiten pensar que este “principio del tamaño” no se cumple en los movimientos explosivos que tienen que realizarse a máxima velocidad durante un corto espacio de tiempo. (Sale, 1992) (Hannertz, 1974) (Grimby, 1977). En dichos movimientos lo importante es **producir la máxima fuerza posible en el mínimo tiempo**. Dicha fuerza es inferior a la fuerza

isométrica máxima. Para intentar entender este concepto complejo, Edgerton (Edgerton, 1983) pone el ejemplo de la carrera a pie. Dicho autor explica que si a un sujeto que está corriendo a una velocidad determinada, le aumentamos bruscamente la velocidad, el sujeto se adapta aumentando la frecuencia de zancada. Esto implica que la duración de cada contacto en el suelo va a disminuir. Como el peso que tiene que mover el sujeto no varía (su propio peso corporal), la fuerza que tiene que vencer en cada paso cuando se aumenta la velocidad no varía con respecto a la realizada a velocidades inferiores.

Lo único que varía es que el sujeto, en cada paso, tiene que superar esa misma fuerza (resistencia) en menos tiempo, es decir, más rápidamente. Por consiguiente, el pico de fuerza desarrollado en cada paso va a ser mayor cuando aumente la frecuencia de zancada. El modo de producir más rápidamente una fuerza submáxima determinada es aumentando la frecuencia de impulso nervioso del nervio motor hasta 100-120 Hz, en las unidades motoras que sean capaces de alcanzar dichas frecuencias; es decir, en las unidades motoras que inervan a las fibras rápidas IIB.

Por consiguiente, se cree que, en el caso de este tipo de movimientos rápidos y cortos, las unidades motoras no siguen el principio de la talla para reclutarse (I-IIA-IIB), sino que solamente se activarían las unidades motoras que inervan las fibras IIB. Esto sugiere que el SNC tiene mecanismos que permiten activar de modo selectivo unidades motoras que inervan fibras IIB (rápidas) sin que sea necesario activar antes las fibras lentas. Esto se reflejaría por un aumento neto en la actividad electromiográfica total en los músculos que intervienen en la carrera cuando se aumenta la velocidad de desplazamiento, debido, probablemente, a un aumento en la frecuencia de impulso nervioso de las unidades motoras que inervan las fibras musculares rápidas.

### **Mecanismos de adaptación neural debidos al entrenamiento de fuerza**

El método que se utiliza para medir la adaptación neural de un músculo al entrenamiento de fuerza es la electromiografía (Sale, 1992). Dicho método consiste en registrar y medir, mediante unos electrodos colocados en la superficie del músculo, la actividad eléctrica producida por las fibras musculares de las unidades motoras que se han activado durante la contracción muscular. Dicha actividad eléctrica (denominada IEMG) será mayor cuanto mayor sea el número de unidades motoras activadas y/o mayor sea la frecuencia de estimulación de cada unidad motora. Antes de estudiar los tipos de adaptación neural al entrenamiento de fuerza, estudiaremos cual es la magnitud de la actividad eléctrica (IEMG) producida en un músculo cuando se realizan distintos tipos de contracción muscular a diferentes intensidades.

#### **Actividad eléctrica integrada (IEMG) de los músculos durante distintos tipos de contracción muscular**

Cuando se realizan contracciones isométricas submáximas progresivamente crecientes o contracciones concéntricas submáximas a velocidad submáxima, se observa que la actividad eléctrica (IEMG) producida en el músculo que se contrae es directamente proporcional a la fuerza producida. Por consiguiente, la actividad eléctrica (IEMG) que se registra en el músculo cuando se contrae al 60% de su fuerza isométrica máxima será inferior a la que se produce al 80% de su fuerza isométrica máxima y ésta a su vez inferior a la producida al 100% de la fuerza isométrica máxima (Hákkinen, 1987a).

Sin embargo, este paralelismo que se observa durante la contracción isométrica entre fuerza e IEMG, no se observa durante las contracciones musculares de intensidad submáxima (inferior a la fuerza isométrica máxima) realizadas a velocidad máxima o durante la realización de contracciones excéntricas de máxima intensidad.

Por último, cuando se realiza una contracción excéntrica de máxima intensidad, la fuerza producida por el músculo suele ser un 20% superior a la fuerza isométrica máxima. Sin embargo la actividad IEMG registrada suele ser un 20% inferior a la obtenida en el test de fuerza isométrica máxima (Hákkinen, 1987a). Estos ejemplos nos indican que no existe siempre un paralelismo entre fuerza producida y activación de las motoneuronas (reflejado por IEMG). Además nos permiten sospechar que los efectos del entrenamiento de fuerza sobre IEMG serán distintos cuando se emplee uno u otro tipo de contracción muscular.

### **Posibles mecanismos de adaptación neural con el entrenamiento de fuerza**

Los posibles mecanismos de adaptación neural al entrenamiento de fuerza podrían ser de 3 tipos: 1) aumento de la activación de los músculos agonistas, 2) mejora de la coordinación intramuscular y 3) mejora de la coordinación intermuscular.

#### **Activación de los músculos agonistas:**

Distintos investigadores han realizado registros de la actividad eléctrica integrada (IEMG) de distintos grupos musculares durante contracciones voluntarias máximas, en sujetos a los que se les sometió a un programa de entrenamiento de fuerza. En varios de dichos estudios los investigadores han encontrado que algunos tipos de entrenamiento de fuerza se acompañan de un aumento de la fuerza isométrica máxima y de un aumento de la IEMG máxima (Hákkinen, 1983c) (Hákkinen, 1986a) (Moritani, 1979) (Hákkinen, 1985c). El aumento de la IEMG máxima después del entrenamiento puede ser debido a un aumento en el número de unidades motoras activadas (reclutadas) y/o a un aumento en la frecuencia de impulso nervioso de las unidades motoras (Salmons, 1969). El aumento en el número de unidades motoras activadas con el entrenamiento de fuerza suele ocurrir especialmente en sujetos previamente sedentarios o no acostumbrados a realizar entrenamientos de fuerza que no son capaces de reclutar todas las unidades motoras, especialmente las que inervan a las fibras rápidas, durante una contracción voluntaria máxima.

La figura 15 (Sale, 1992 a partir de Hákkinen, 1985a) (Hákkinen, 1985b), muestra que el tipo de entrenamiento de fuerza realizado tiene una influencia diferente sobre las mejoras de fuerza o de IEMG máxima. En efecto, dicha figura muestra el efecto de dos tipos de entrenamiento en la curva fuerza-tiempo y IEMG-tiempo:

1. Entrenamiento en el que se realizan ejercicios explosivo-balísticos (saltos a máxima velocidad, sin carga adicional) (a) y
2. Entrenamiento en el que se realizan ejercicios con cargas elevadas (80-100 % 1 RM) (b).

Se observa (arriba e izquierda de la figura) que el entrenamiento de fuerza explosiva se acompaña de una mejora del 1% de la fuerza isométrica máxima y de una mayor capacidad para producir rápidamente una fuerza submáxima (mejora del 24%).

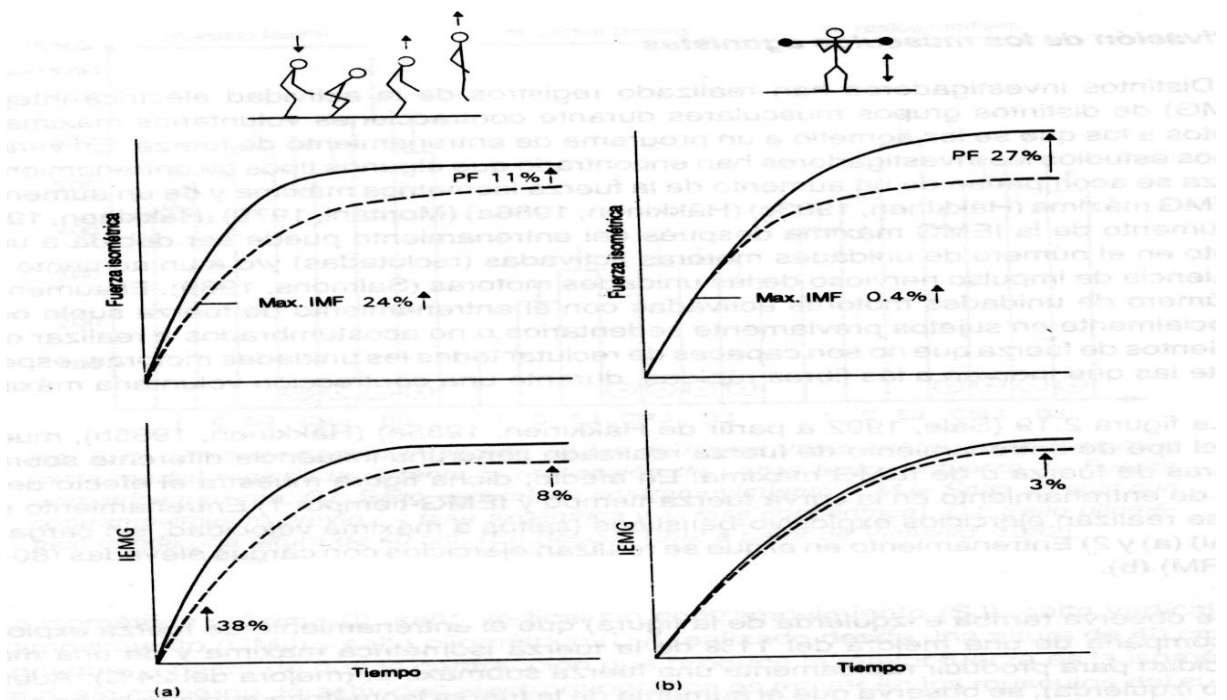
Además (abajo izquierda), se observa que el aumento de la fuerza isométrica máxima se ha acompañado de una mejora similar de la IEMG máx. (8%), y de una mayor habilidad para activar rápidamente los nervios motores (38%).

Esto refleja una adaptación neural debida probablemente a un aumento de la frecuencia de impulso nervioso de las motoneuronas que inervan las fibras rápidas. Como

veámos en la figura 13 esto les permite producir una fuerza determinada en menos tiempo.

En la parte derecha de la figura 13 se observan los efectos del entrenamiento de fuerza máxima (con cargas elevadas superiores a 80% de 1 RM), en la curva fuerza-tiempo (arriba) y la curva IEMG-tiempo (abajo), durante la realización de una contracción isométrica máxima del cuádriceps. Se observa que dicho entrenamiento se acompaña de un aumento muy elevado (27%) de la fuerza isométrica máxima. Dicho aumento es muy superior al obtenido tras un entrenamiento de fuerza explosiva (11%), (figura de la izquierda).

Sin embargo, el entrenamiento de fuerza máxima no se acompaña de una mejora en la capacidad para producir rápidamente una fuerza submáxima (aumento no significativo del 0.4%). Los efectos de dicho entrenamiento sobre la actividad IEMG quedan reflejados en la curva de abajo a la derecha. Se observa que el gran aumento en la fuerza isométrica máxima con el entrenamiento, (27%), se acompaña de solamente un ligero aumento (3%) en la IEMG máxima.



**Fig. 15** Efecto de dos tipos de entrenamiento: (a) entrenamiento de fuerza explosiva y b) entrenamiento de fuerza máxima en la curva fuerza-tiempo e IEMG-tiempo. Para más detalles, leer el texto (De Sale 1992, a partir de Hákkinen, 1985b).

Esto indicaría que otros factores diferentes a los nuestros (ej: hipertrofia) contribuyen a la mejora de la fuerza isométrica máxima con este tipo de entrenamiento.

Por otra parte se observa que la velocidad de activación IEMG para una fuerza submáxima no se modifica con este tipo de entrenamiento, y a veces puede llegar a empeorar.

De todos modos, explicaremos esto con más detalle en apartados posteriores, cuando hablemos de estudios científicos en los que se han analizado los efectos de distintos tipos de entrenamiento en el desarrollo y la manifestación de la fuerza.

### **La coordinación intramuscular: sincronización de las unidades motoras**

En los años 60 y 70, algunos autores consideraban que una de las principales adaptaciones neurales al entrenamiento de fuerza era que las unidades motoras de un músculo se sincronizaban mejor después del entrenamiento (Milner-Brown, 1973). Es decir, que con el entrenamiento, las unidades motoras se reclutarían de modo más coordinado, necesitando una menor frecuencia de estimulación para producir la misma fuerza.

El único hallazgo experimental que permite actualmente pensar en esta hipótesis es que algunos autores han encontrado que después de varias semanas de entrenamiento de fuerza se necesita una menor activación electromiográfica (IEMG) para producir una fuerza submáxima determinada ej: 2000 N

### **La coordinación intermuscular**

Durante el entrenamiento de fuerza se produce un proceso de aprendizaje. Esto permite realizar un movimiento de modo más económico, y más sincronizado. Ello se debe a que los músculos agonistas se activan de un modo más coordinado, los músculos antagonistas se contraen menos y se necesita menor energía para producir una fuerza determinada. La mejor manera de estudiar la mejora de la coordinación intermuscular consiste en realizar registros simultáneos de IEMG de los diferentes músculos agonistas y antagonistas que intervienen en cada movimiento durante la sesión de entrenamiento.

El aprendizaje de un movimiento se acompañará, durante la realización de un ejercicio la carga absoluta dada, de una menor activación IEMG de todos los músculos, especialmente de los antagonistas (Smith, 1981).

### **Aplicaciones prácticas**

- ◆ La medida de la fuerza isométrica máxima y la relación fuerza-tiempo permiten evaluar los valores de fuerza de un sujeto así como los efectos de distintos tipos de movimiento de fuerza.
- ◆ La mejor manera de evaluar la evolución de los factores nerviosos del desarrollo de la fuerza es mediante el registro de la actividad eléctrica integrada (IEMG) de los grupos musculares que intervienen en el ejercicio.
- ◆ La mayor activación neural (IEMG) se produce durante los ejercicios explosivos realizados con cargas ligeras a gran velocidad. La contracción excéntrica máxima aislada tiene menos activación neural que la contracción isométrica máxima.
- ◆ Es muy probable que los ejercicios explosivos provoquen una mayor o más rápida fatiga de origen neural y, por consiguiente, un mayor riesgo de sobreentrenamiento de origen nervioso.

### **SÍNTESIS DE IDEAS FUNDAMENTALES**

- Los factores nerviosos que intervienen en el desarrollo de la fuerza son: la unidad motora, la coordinación intramuscular y la coordinación intermuscular.
- Una unidad motora está constituida por un nervio motor y las fibras musculares inervadas por dicho nervio motor.

- Existen 3 tipos de unidades motoras: las que inervan a las fibras musculares IIB, las que inervan a las fibras musculares IIA y las que inervan a las fibras musculares I.
- Durante las contracciones isométricas submáximas progresivamente crecientes, las unidades motoras se reclutan siguiendo el principio de la talla (I - IIA - IIB). A su vez, cada unidad motora reclutada va aumentando progresivamente su frecuencia de impulso nervioso.
- Durante los movimientos explosivos, es muy probable que solamente se recluten selectivamente, a una gran frecuencia de impulso nervioso, las unidades motoras que inervan las fibras musculares IIB.
- La actividad eléctrica integrada (IEMG) del músculo cuádriceps es mayor durante el salto vertical que durante la realización del test de fuerza isométrica máxima o submáxima.
- La adaptación neural al entrenamiento varía en función del tipo de entrenamiento realizado.

## FACTORES DEL DESARROLLO DE LA FUERZA RELACIONADOS CON EL CICLO ESTIRAMIENTO-ACORTAMIENTO

En general, los tipos de contracciones musculares se clasifican en **dinámicos (concéntricos, excéntricos) y estáticos (isométricos)**. Esta clasificación es sin embargo demasiado simplista puesto que no refleja la función natural de los músculos humanos durante los movimientos normales. En efecto, durante movimientos naturales como correr, andar o saltar, los músculos realizan contracciones musculares en las que a una contracción muscular excéntrica (ejemplo: estiramiento del cuádriceps durante la fase de apoyo de la carrera) le sigue inmediatamente otra contracción concéntrica (ejemplo: contracción concéntrica del cuádriceps durante la fase de impulso de la carrera).

La combinación de la fase excéntrica (en la que el músculo se activa mientras se estira) y la fase concéntrica que le sigue, forman un tipo de función muscular natural que se denomina el **ciclo de estiramiento acortamiento (CEA)**. En el ámbito del entrenamiento deportivo se suele denominar al CEA como **“contracción pliométrica”**.

Sin embargo, el término “pliométrico” se refiere solamente a la fase de estiramiento del músculo. Por ello, dicho autor recomienda que no se utilice el término “pliométrico” sino el de CEA, tal como lo definió Komi (1984). Sin embargo, debido al empleo casi generalizado del término “pliométrico” en la literatura deportiva, utilizaremos indistintamente cualquiera de los dos términos en este texto.

Lo que caracteriza al ciclo estiramiento-acortamiento, al que hemos denominado a partir de ahora (CEA), es que la última fase del ciclo (la contracción concéntrica) es más potente cuando está inmediatamente precedida de una contracción excéntrica que se realiza de modo aislado.

Diferentes hechos experimentales han demostrado esta característica del CEA.

### Señalaremos los siguientes:

- ◆ Estudios de eficiencia mecánica (relación entre el trabajo externo realizado y la energía consumida, en equivalentes de oxígeno), han demostrado que el rendimiento mecánico de la contracción concéntrica es mayor (60%) cuando se realiza en un CEA que cuando se realiza de modo aislado (40%). En otras palabras, para producir un determinado trabajo se consume menos oxígeno durante la contracción concéntrica del CEA que en contracción concéntrica pura.

- ◆ Cuando hablábamos de la activación de las unidades motoras de un músculo sobre la contracción muscular, veíamos que la fuerza producida por las fibras musculares inervadas por un nervio motor era proporcional a la frecuencia de impulso nervioso. Así, veíamos que un impulso eléctrico aislado en un nervio motor se acompaña de un pequeño aumento de la producción de fuerza de las fibras musculares inervadas por dicho nervio motor, y que cuando la frecuencia de impulso aumentaba: 20 impulsos/segundo= 20 Hz, la fuerza producida por sus fibras musculares era mucho mayor.

Pues bien, si inmediatamente antes de enviar un sólo impulso eléctrico a través del nervio motor, se estira rápidamente el músculo, se observa que la fuerza producida por las fibras musculares inervadas por dicho nervio motor es muy superior a la producida por el impulso eléctrico aislado sin estiramiento muscular posterior. Esto parece confirmar que el estiramiento del músculo favorece la producción de mayor energía por parte del mismo.

- ◆ Un hecho empírico que demuestra de modo sencillo la mayor potencia del CEA es que el salto vertical precedido de un contramovimiento previo, (contracción excéntrica del cuádriceps), es generalmente superior al salto vertical no precedido de contramovimiento.
- ◆ Por último, vimos la actividad eléctrica integrada del músculo cuádriceps durante la realización del salto vertical (SJ) y el salto con contramovimiento (CMJ), éste último subdividido en fase excéntrica y fase concéntrica (+). Se observa que durante la fase concéntrica del salto con contramovimiento previo, la actividad eléctrica integrada de los músculos del cuádriceps es 35% inferior a la observada en (SJ). Si además tenemos en cuenta que la altura del salto vertical alcanzado en (CMJ) es 10-20% superior a la de (SJ) podemos concluir que hace falta una menor activación electromiográfica del cuádriceps durante la fase concéntrica del salto (CMJ) para poder producir una potencia determinada. Esto sería compatible con una mayor eficacia en el salto (CMJ) con respecto al (SJ).

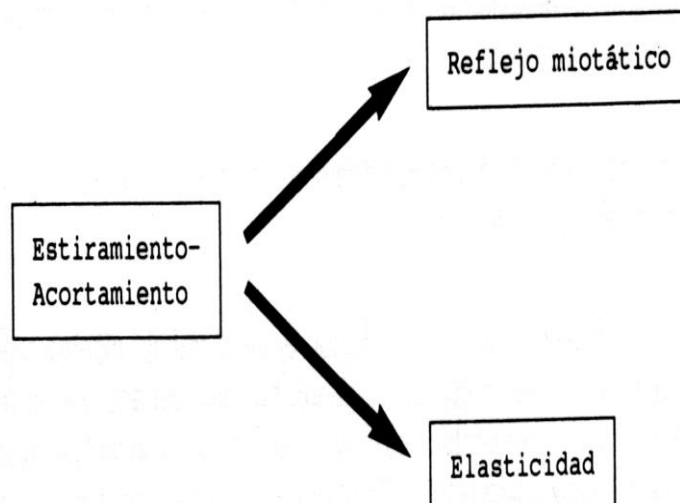


Fig. 16. Factores que intervienen probablemente en el ciclo estiramiento-acortamiento.

## Razones por las cuales la contracción concéntrica del CEA es más eficaz que la contracción concéntrica aislada

No se sabe con exactitud la razón por la cual la contracción concéntrica del CEA es más eficaz que la contracción concéntrica aislada. Algunos autores consideran que podría ser debida a dos razones:

- ♦ **La intervención del reflejo miotático** o reflejo de estiramiento de la médula espinal. Dicho reflejo consiste, de modo esquemático, en lo siguiente, (Cometti, 1988): cuando el músculo se estira, unos receptores nerviosos que se encuentran en el músculo y que son sensibles al estiramiento se estimulan. Esta estimulación viaja a lo largo del nervio (motoneurona gamma) desde el músculo hasta la médula espinal. En la médula espinal dicho nervio hace sinapsis (se une) con un nervio motor (motoneurona) que se estimula, se dirige al músculo y potencia la contracción concéntrica de dicho músculo. Todo este proceso suele durar unas 30 milésimas de segundo, y podría ser el responsable de la potenciación de la respuesta de un músculo tras un estiramiento previo.

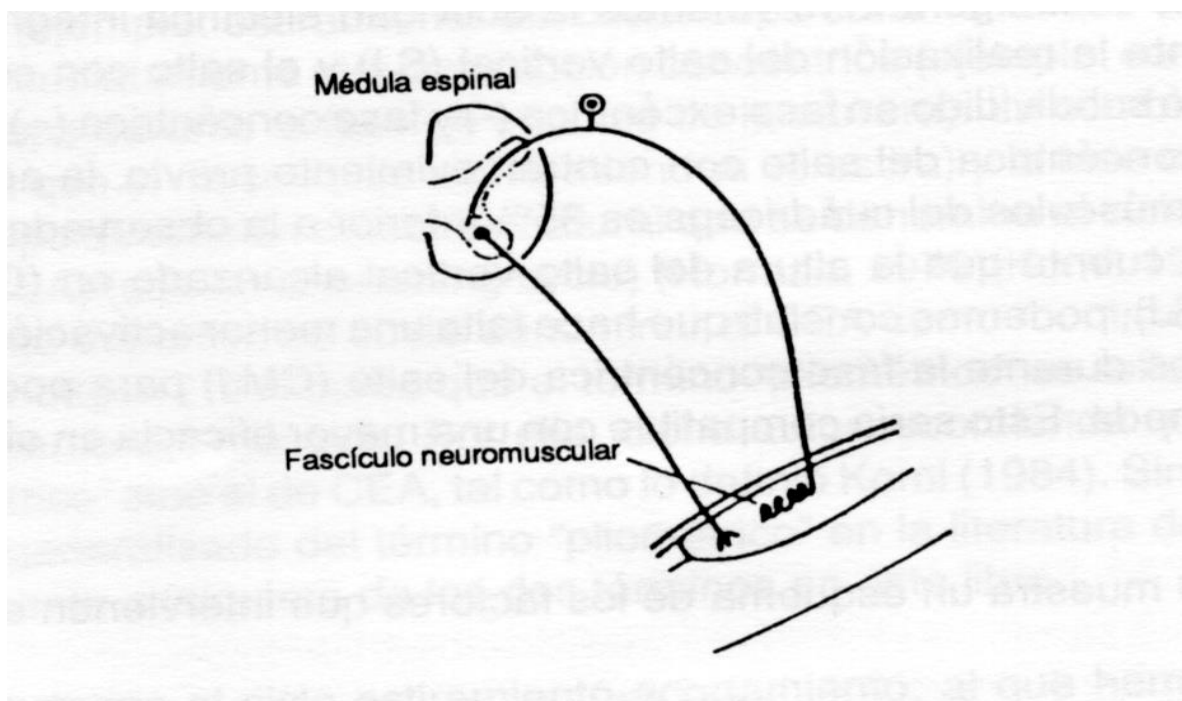


fig. 17. Esquema del reflejo miotático.

- ♦ Debido a la **elasticidad muscular**, o a la capacidad del músculo para almacenar energía elástica durante el estiramiento y utilizarla parcialmente en la contracción realizada inmediatamente después. Sin embargo se conoce muy poco sobre el modo en que se produce el almacenamiento de energía elástica en el músculo y los tendones durante el estiramiento.

### Efectos del entrenamiento del CEA sobre la capacidad de mejora del mismo

Como en cualquier proceso de adaptación debido al entrenamiento, la repetición periódica del CEA se acompaña de una mejora en las prestaciones de las contracciones musculares concéntricas precedidas de otras contracciones excéntricas (Häkkinen, 1985c). Por ejemplo, el entrenamiento consistente en realizar contracciones del cuádr-

ceps con cargas ligeras, pocas repeticiones, a máxima velocidad y con mucho tiempo de recuperación entre ejercicios se suele acompañar, como veremos más adelante de un aumento muy significativo en el salto vertical precedido de estiramiento previo (CMJ) y en saltos realizados con el CEA (Hákkinen, 1985c). Nos podemos preguntar: ¿Cuales son los mecanismos por los que se mejoran las prestaciones durante el CEA tras un entrenamiento de este tipo?. La respuesta no se conoce muy bien. Teóricamente se podría esperar una adaptación del reflejo miotático y/o de la elasticidad muscular.

Algunos resultados experimentales permiten pensar que la adaptación de los dos mecanismos contribuye a la mejora de las prestaciones durante el CEA después del entrenamiento. Estos resultados son los siguientes:

- ◆ Se han observado adaptaciones en la actividad eléctrica del músculo durante el CEA debidas al entrenamiento. La figura 18 (Schmidtbleicher, 1982), muestra el registro electromiográfico del músculo gastrocnemio durante el salto vertical precedido de una contracción excéntrica, en un sujeto entrenado para realizar saltos y en un sujeto no entrenado. Se observa que la actividad electromiográfica es muy distinta en los dos sujetos, especialmente durante la fase excéntrica del movimiento que comienza desde que el sujeto entra en contacto con el suelo y que está señalado en la figura con una línea vertical. En efecto, durante esa fase el sujeto no entrenado presenta un período de inhibición de la actividad eléctrica, mientras que el sujeto entrenado presenta una activación o facilitación. Se cree que este proceso de facilitación neural debido al entrenamiento puede estar relacionado con una adaptación del reflejo miotático.
- ◆ Los cambios observados a nivel neural no pueden explicar por sí solos los incrementos observados durante el salto vertical en un CEA. Por consiguiente, se considera que una parte de las ganancias obtenidas tras el entrenamiento debe estar relacionada con la mejora de la elasticidad del sistema contráctil y/o de los tendones.

Sin embargo, a pesar de estos prometedores resultados, la mayoría de los investigadores consideran que los resultados experimentales obtenidos hasta la fecha sobre el CEA son insuficientes para comprender correctamente los mecanismos de adaptación al entrenamiento del CEA.

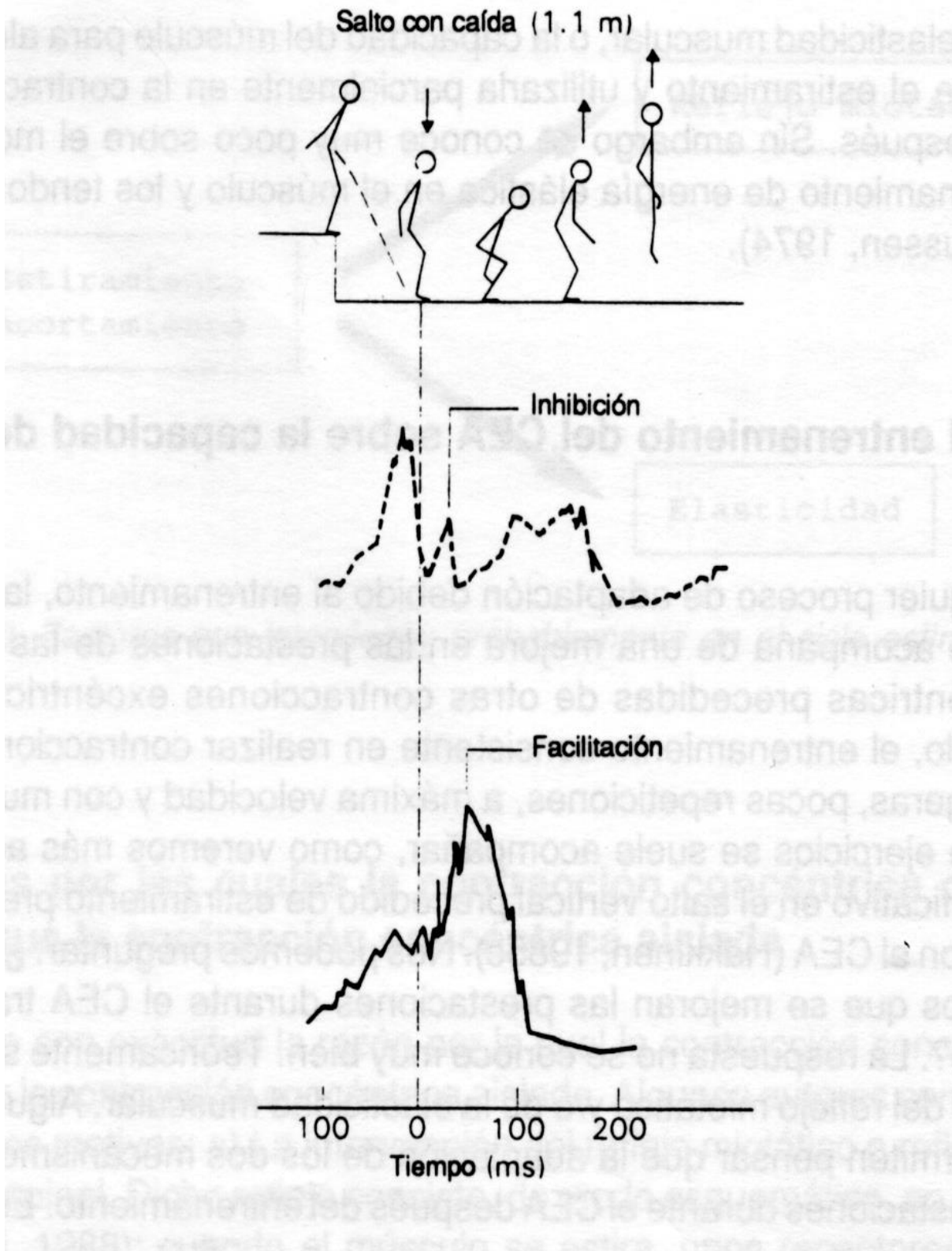


Fig. 18. Registro electromiográfico del músculo gastrocnemio durante la realización de un salto en un sujeto no entrenado (línea intermitente) y en un saltador entrenado (línea continua).

### **Aplicaciones prácticas**

1. En aquellas disciplinas deportivas en las que juega un papel relevante el CEA, es necesario realizar un entrenamiento específico de CEA.
2. La magnitud de la activación neural durante un movimiento CEA es casi doble que la que se observa durante una contracción concéntrica aislada. Por tanto el CEA supone un mayor estímulo neural pero también un mayor riesgo de fatiga precoz.
3. El estudio descriptivo electromiográfico permite cuantificar la mejora de la facilitación neural con el entrenamiento.
4. Conviene tener siempre en cuenta que los trabajos experimentales realizados hasta la fecha con el CEA son escasos. Si además tenemos en cuenta que el riesgo de lesión parece ser grande en el entrenamiento de CEA, parece conveniente ser conservador con este tipo de ejercicios, especialmente en jóvenes.

### **SÍNTESIS DE IDEAS FUNDAMENTALES**

- ◆ Durante la mayoría de los movimientos naturales y deportivos los músculos realizan el ciclo acortamiento-estiramiento (CEA).
- ◆ El CEA se caracteriza por ser más potente que la contracción concéntrica aislada. Ello podría ser debido a la intervención del reflejo miotático y/o a la capacidad de aprovechamiento de la energía que se ha almacenado en los músculos durante la contracción excéntrica.
- ◆ La realización periódica de ejercicios de CEA se acompaña de una mejora de las prestaciones durante el CEA. La mejora podría ser debida a un proceso de facilitación neural y/o a una mejora de la elasticidad del músculo y tendón. Sin embargo, las bases experimentales son escasas.

## **5. MECANISMOS HORMONALES RELACIONADOS CON EL DESARROLLO DE LA FUERZA**

### **Balance anabólico**

Hemos visto que el entrenamiento de fuerza se suele acompañar de un aumento del tamaño del músculo, de la fuerza isométrica máxima, de la potencia de los músculos entrenados, así como de adaptaciones del sistema nervioso.

El origen de todas estas adaptaciones que se producen en el metabolismo del músculo y del nervio motor es muy complejo y desconocido. Sin embargo, se cree que los mecanismos hormonales forman una parte muy importante de ese complejo sistema que produce esas adaptaciones al entrenamiento de fuerza (Kraemer, 1992b). Las razones por las que se cree esto son las siguientes:

- ◆ Las hormonas anabolizantes (hormona del crecimiento, somatomedinas, insulina, testosterona y hormonas tiroideas) tienen efectos a nivel metabólico y celular muscular que son similares a los observados en el músculo después del entrenamiento de fuerza (Kraemer, 1992).
- ◆ Durante diferentes tipos de sesiones de entrenamiento de fuerza existe un aumento en la concentración sanguínea de las diferentes hormonas anteriormente citadas. Este

aumento suele ser interpretado como el reflejo de una mayor liberación y utilización de hormonas por los tejidos, debido al ejercicio muscular (Kraemer, 1992b) (Kraemer, 1992)

◆ Por último, distintos estudios parecen indicar que las concentraciones basales de hormonas anabolizantes, como la testosterona, permiten evaluar el balance hormonal anabólico-catabólico en el que se encuentra un sujeto después de un período de entrenamiento. En efecto, los resultados de estos estudios parecen indicar que la mejora de las distintas manifestaciones del desarrollo de la fuerza con el entrenamiento se suele acompañar de un balance hormonal anabólico (reflejado por un aumento de las tasas basales de hormonas anabolizantes, como la testosterona, y/o un descenso de las tasas de hormonas catabólicas, como el cortisol) (Hákkinen, 1985d) (Hákkinen, 1987c) (Hákkinen, 1988a) (Hákkinen, 1988b) (Hákkinen, 1988c) (Hákkinen, 1991 a); y a la inversa, un balance hormonal catabólico, se suele acompañar de un deterioro de las distintas manifestaciones de la fuerza.

En este capítulo vamos a indicar esquemáticamente las acciones de las distintas hormonas que pueden intervenir en los mecanismos de adaptación que acompañan al entrenamiento de fuerza. En apartados posteriores estudiaremos la evolución de las tasas sanguíneas de dichas hormonas durante diferentes sesiones de entrenamiento, así como los efectos de varios días o semanas de entrenamiento de fuerza en los indicadores del balance hormonal.

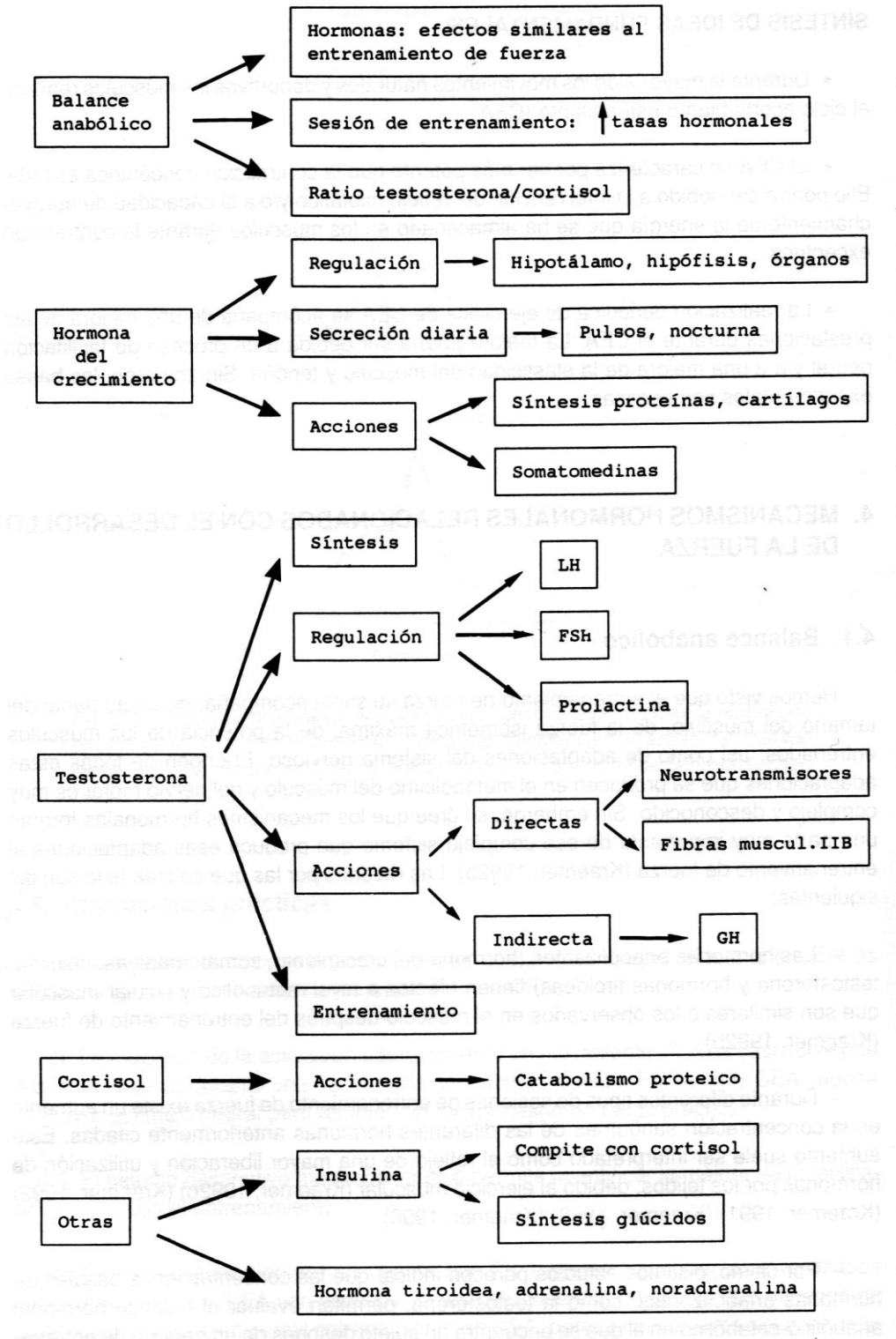


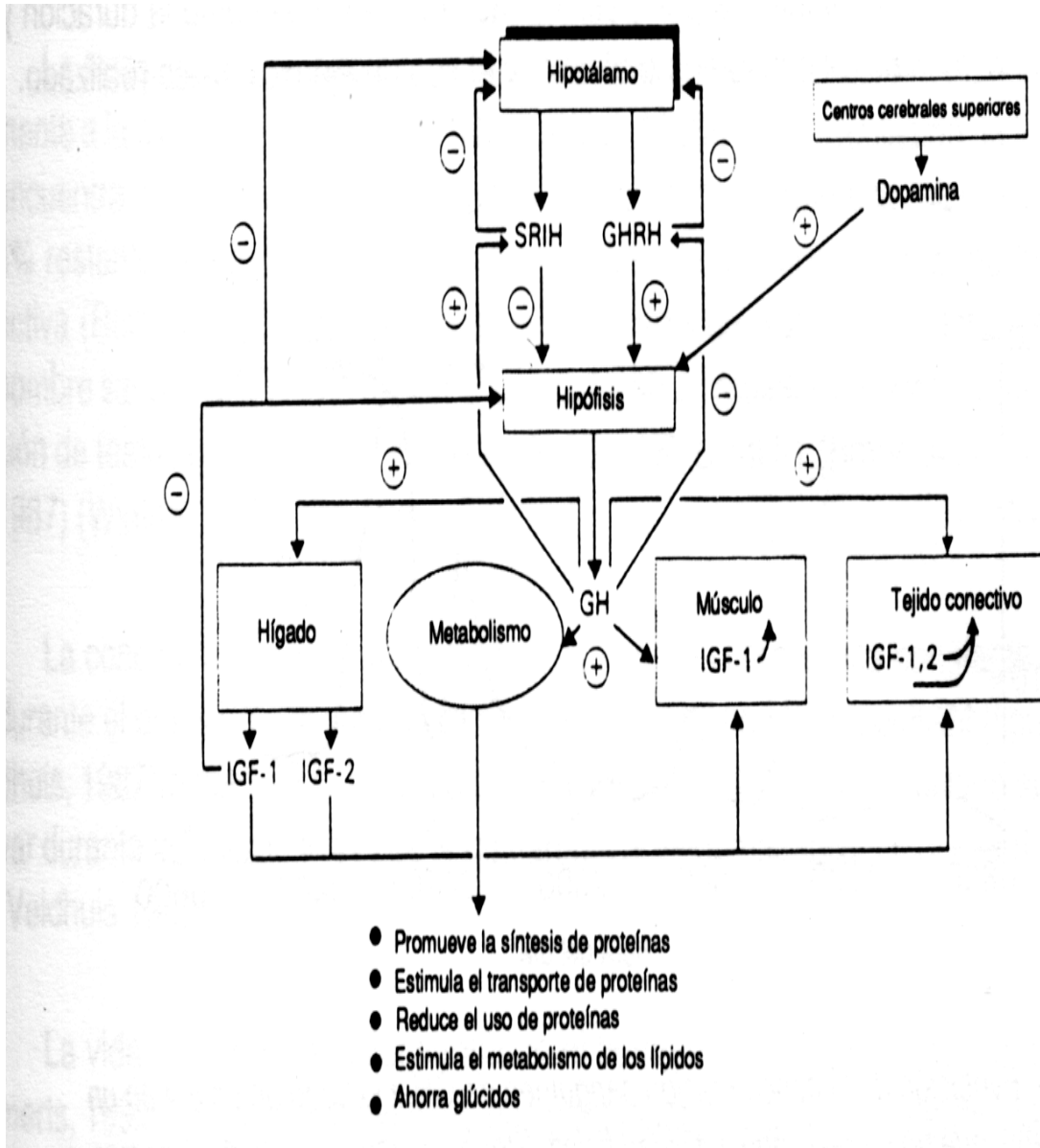
Fig. 19. Mecanismos hormonales del desarrollo de la fuerza

### Hormona del crecimiento (HGH)

La hormona del crecimiento (GH) es una hormona polipeptídica secretada por la hipófisis.

## Mecanismos de regulación de la secreción de HGH

Esquema básico sobre la compleja regulación de la secreción de la GH. (A partir de Kraemer, 1992b).



Muestra un esquema de los mecanismos de regulación de la secreción de la HGH.

Este esquema de regulación nos puede servir básicamente para entender la regulación de diferentes hormonas. En la hipófisis, la estimulación de la secreción de HGH depende de los diferentes estímulos o inhibiciones de los órganos que tienen una influencia sobre dicha hipófisis.

Estos son los centros superiores (cerebro, hipotálamo), y los órganos periféricos (órganos en los que la HGH ejerce su acción), como el hígado, músculo, tejido conectivo y metabolismo energético.

Cada uno de estos órganos puede ser estimulador o inhibidor. Así, por ejemplo, el ejercicio muscular intenso estimula la secreción de HGH. A su vez los centros están sometidos a mecanismos de regulación de realimentación (feedback), que permiten modular las respuestas hormonales: cuando tras un estímulo determinado hay un aumento de la secreción de HGH, el aumento correspondiente de las tasas sanguíneas de HGH actúa como inhibidor a nivel de la hipófisis de la liberación de más HGH. Y a la inversa, una disminución de las tasas sanguíneas de HGH se acompaña de una estimulación de la secreción de esta hormona desde la hipófisis.

Por último, al estar la hipófisis influenciada por órganos superiores (hipotálamo, cerebro), distintos tipos de fatiga física o psíquica pueden inhibir la secreción de hGH.

### Secreción diaria de GH

La evolución de la concentración sanguínea de hGH a lo largo de un día en una persona sana, sedentaria. Se observa que tiene una forma pulsátil, con diferentes picos y una secreción aumentada durante la noche. Se cree que dicho aumento nocturno contribuye a acelerar los procesos de reparación de los distintos tejidos, incluido el muscular.

La secreción de hGH está influida por distintos factores externos como la duración y calidad del sueño, la dieta, el consumo de alcohol y el tipo de ejercicio físico realizado.

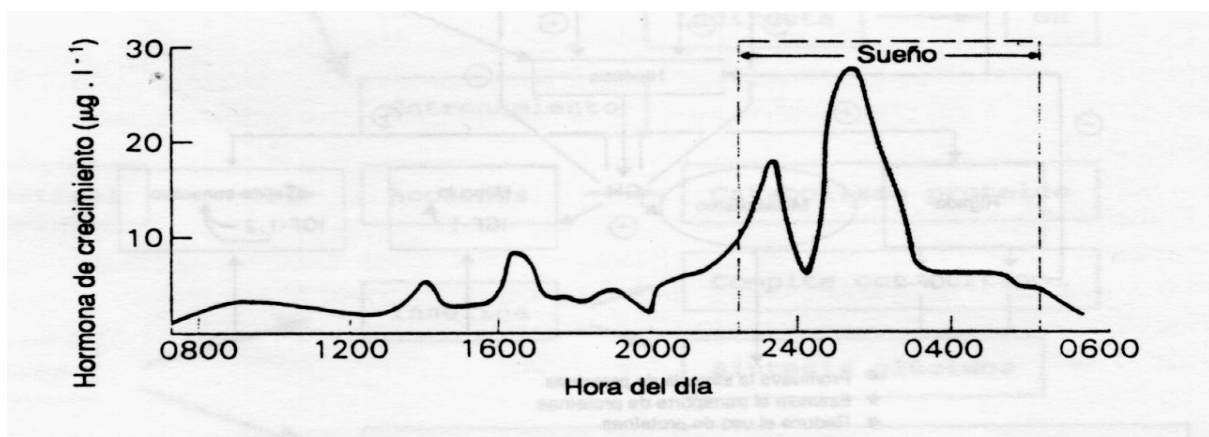


Fig. 21 Evolución de la concentración sanguínea de hGH a lo largo de un día en un adulto sano, que no ha realizado actividad física. Sleep= sueño. (A partir de Kraemer, 1992b).

### Acciones de la GH

La mayoría de los estudios parecen indicar que la HGH actúa principalmente como propiciadora de otras hormonas llamadas somatomedinas o IGF, cuyas acciones principales son:

- ◆ Aumentar la síntesis de proteínas.
- ◆ Aumentar la captación de proteínas (aminoácidos) por parte del músculo.
- ◆ Reducir la utilización de proteínas.
- ◆ Estimular el crecimiento de los cartílagos.

Como se puede observar, todos estos efectos son compatibles con la hipertrofia que acompaña al entrenamiento de fuerza.

## **Testosterona**

### **Síntesis, transporte y eliminación**

La testosterona es la principal hormona androgénica. En el hombre, el 95% de la conducción total de testosterona tiene lugar en las células de Leydig de los testículos, que producen aproximadamente 5 a 10 mg/día. El resto de la testosterona (5%) se produce en la corteza suprarrenal y en el cerebro. La mujer produce de 10 a 20 veces menos testosterona que el hombre, siendo su origen la corteza suprarrenal, el cerebro y los ovarios.

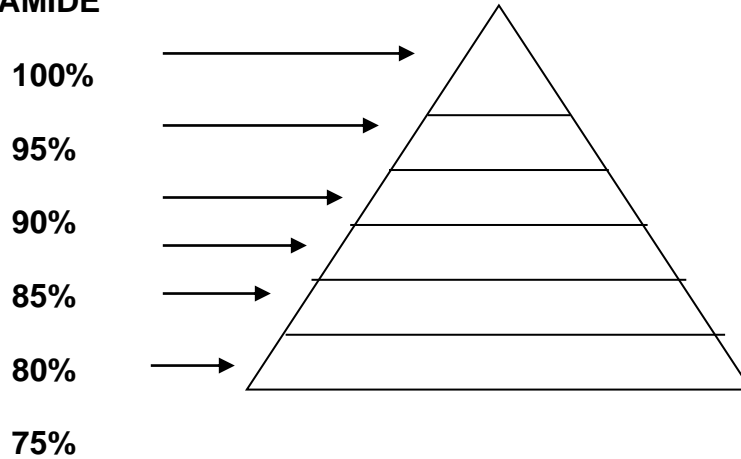
La testosterona se sintetiza a partir del colesterol. Una vez sintetizada pasa rápidamente a la circulación sanguínea. En la circulación, la testosterona se encuentra en el plasma, la mayor parte (97%) ligada a proteínas (albúmina y SHBG). El 3% restante se encuentra en el plasma en forma libre, que es la forma biológicamente activa. La concentración media de testosterona total en suero en un hombre sano adulto puede oscilar entre 10.4 y 38.2 mmoles/l, mientras que la concentración de testosterona libre en suero es de 50 a 130 mmol/l. El valor más elevado se suele observar durante la madrugada (6 de la mañana) y el más bajo al anochecer

La concentración sanguínea de testosterona no permanece constante en el hombre durante el día sino que varía en forma pulsátil (Arce, 1993).

## MÉTODOS DE ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA

Estos métodos son los que se aplican en su mayoría para obtener **Hipertrofia Muscular**. No son utilizados para otro tipo de Fuerza

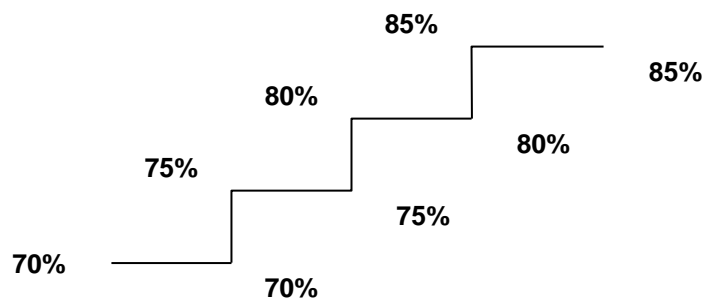
### 1. MÉTODO DE LA PIRÁMIDE



Si no se quiere llegar al 100% de la Fuerza Máxima se planifica una pirámide trunca.

### 2. MÉTODO DE LA CARGA ESTABLE

8x 80% de la F. Máxima  
8x 80%  
8x80%  
6x80%

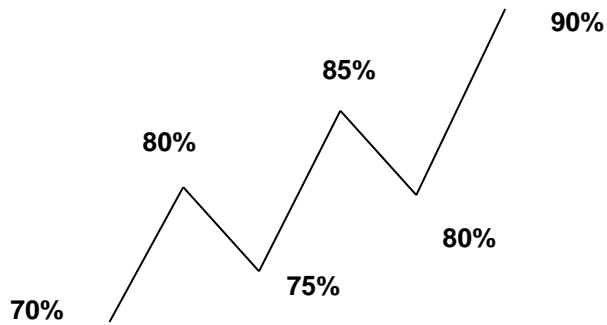


### 3. MÉTODO DE LA ESCALERA

### 4. MÉTODO DECRECIENTE

I	-----	100%
II	-----	90%
III	-----	80%
IV	-----	70%
V	-----	60%

## 5. MÉTODO DE OLEAJE



## 6. MÉTODO CRECIENTE – DECRECIENTE

I	-----	70%
II	-----	80%
III	-----	90%
IV	-----	80%
V	-----	70%

## PRINCIPIOS DEL ENTRENAMIENTO CULTURISTA

Como ya hemos podido comprobar con anterioridad, en el culturismo o bodybuilding existe una gran variedad de ejercicios. Estos ejercicios son exactamente iguales para todos los practicantes, aunque como es lógico unos les van mejor a ciertas personas que a otras, y cada cual tiene sus preferencias. No obstante la diferencia fundamental estriba en la forma de ejecutarlos, pues mientras que, por ejemplo, un sujeto realiza curl de bíceps de forma mecánica y totalmente distraído, otro puede hacerlo concentrándose en llevar cada repetición a la máxima amplitud de movimiento posible, o en “tirar” las mayores cargas con las que pueda, en enfatizar la fase negativa o de bajada, o en llevar la tensión continua durante todo el movimiento; pues no olvidemos que la técnica bien ejecutada nos hace sacarle al ejercicio todo lo bueno que nos puede dar. De ahí que, si queremos sacar el máximo provecho posible, tendremos que realizar correctamente cada ejercicio, cada serie y cada repetición, de acuerdo con los siguientes principios de ejecución del ejercicio:

- Máxima amplitud del movimiento. Es decir, el recorrido del ejercicio será el máximo que nos permitan las articulaciones implicadas en el movimiento, y para que esto sea así, hay que hacer la máxima contracción o acercamiento y la máxima elongación o estiramiento.
- Máxima contracción en fase positiva. Para lo cual se intentarán movilizar todas las fibras musculares posibles, contrayendo al máximo el músculo trabajado en la fase positiva o de elevación de peso (contracción concéntrica).
- Máxima contracción en la fase negativa. Esto es aprovechar la bajada del peso para contraer el músculo excéntricamente al máximo, lo que conocemos como entrenamiento negativo. Se trata pues de frenar el descenso de la carga, debiendo hacerlo de forma lenta y controlada. No hay que dejar que la barra baje gracias a la fuerza de gravedad.

- Aislamiento. Cada músculo o grupo muscular lo trabajaremos aisladamente, esto es, sin ayuda (o con la menor posible) de los grupos musculares adyacentes, ni mediante movimientos de compensación del cuerpo.
- Concentración mental máxima. Es fundamental “meterse” dentro del ejercicio que estamos realizando, poniendo toda nuestra atención en la ejecución y acción del músculo que estamos entrenando; intentando, inclusive, visualizar el objetivo que perseguimos con ese entrenamiento y viendo mentalmente como queremos que crezca y sea el músculo ejercitado. Esta concentración mental hace afluir a la zona trabajada mayor cantidad de sangre, logrando así un mayor bombeo y contracción muscular, así como mayor oxigenación y transporte de elementos nutritivos.

## **TÉCNICAS O PRINCIPIOS DE EJECUCIÓN PARA INTENSIFICAR EL ENTRENAMIENTO CULTURISTA**

Estas técnicas o principios son producto de los ensayos y experimentos realizados por muchos culturistas en sus entrenamientos a través de varios años de actividad, intentando darle más intensidad al movimiento con objeto de lograr más y mejores rendimientos y procesos musculares.

Así pues, cada cual incidía en lo que a su juicio creía que iba a intensificar más su entrenamiento: unos ensayaban aumentando progresivamente las cargas, otros incrementaban las repeticiones o acortaban el tiempo de descanso entre series; algunos entrenaban haciendo pequeñas “trampas”, etc. Pues bien, con todos estos experimentos llevados a cabo por culturistas de competición, hubo un hombre, que además de ser el entrenador de muchos de ellos, estudió y recogió estos ensayos, plasmándolos por escrito y divulgándolos por todo el mundo. Este hombre, conocido en el ambiente culturista de competición como “El Master Blaster”, es Joe Weider, el entrenador de campeones, que en su magnífico libro “The Weider system of Bodybuilding” nos explica con todo tipo de detalles todos estos principios y técnicas de entrenamiento, y en el cual me he basado para la realización de este apartado.

Algunos de estos principios no puede decirse que sean ciertamente producto del entrenamiento, como es el caso llamado “instintivo” que es más una especie de filosofía culturista, no teniendo nada que ver con las adaptaciones fisiológicas que se producen en el músculo bajo las diferentes técnicas de entrenamiento.

La filosofía del principio instintivo se puede resumir en la experimentación de los diferentes ejercicios y técnicas para constatar cuales nos producen mejores resultados, ya que cada persona es distinta, y lo que a algunos les va bien para otros puede ser incluso contraproducente. Para lo cual debemos aprender a interpretar las señales y sensaciones que el cuerpo nos transmite: si tal ejercicio o técnica nos produce apatía, si sentimos que no estamos recuperados, según el tipo de dolor muscular que notamos, etc. Es por tanto una filosofía individualizada de interpretación del entrenamiento.

Los principios o técnicas de intensificación más importantes son:

### **Principio de sobrecarga progresiva**

Es un importante principio de entrenamiento deportivo, y en el que se basa el bodybuilding.

Para que un músculo crezca, se desarrolle cada vez más, es necesario que se produzcan mayores estímulos, siendo el aumento de las cargas progresivas la base de todo entrenamiento científico racional. Si la carga (los ejercicios, las repeticiones, las series, los kilos, etc.) se mantienen, permanecen constantes, llega un momento en que los estímulos de entrenamiento son cada vez menores y no entrenan, no producen adaptaciones fisiológicas del organismo. El término “sobrecarga” define una carga de trabajo superior a

la que el cuerpo está habituado y las adaptaciones beneficiosas sólo se producen cuando responden a tensiones aplicadas a niveles superiores al umbral, dentro de los límites de tolerancia. Será por tanto muy difícil aumentar la fuerza o el volumen muscular trabajando con cargas ligeras. La mayor fuerza física de un sujeto va a depender de la capacidad de asimilación de estímulos sucesivamente crecientes. Esta capacidad sólo podrá adquirirse si durante el proceso de entrenamiento hay un crecimiento paulatino del esfuerzo o progresión. La intensidad del ejercicio debe aumentar de forma gradual para que el sujeto vaya adaptándose progresivamente a esfuerzos cada vez más intensos en calidad y cantidad de entrenamiento. A medida que aumenta la capacidad funcional del deportista, en la misma medida deben aumentar los esfuerzos. Por lo tanto, para conseguir la mejora funcional del organismo (en nuestro caso el músculo) es necesario llegar a los límites de esfuerzo.

Este principio de progresión comprende también la sistematización del proceso de entrenamiento:

- De lo básico y general a lo específico
- De la cantidad de entrenamiento a la calidad del mismo

### **Principio de impulso o trampa**

También conocido como “cheating”. Siempre se recalca la importancia de ejecutar de forma correcta y precisa los ejercicios. Pues bien, sin contradecir esto, cuando llevas bastante tiempo entrenando y eres un culturista avanzado, debes aprender esta técnica de impulso o trampa, que se basa en dar un pequeño impulso a las barra con el cuerpo para ayudarte a realizar uno o dos repeticiones más, cuando ya no puedes hacer ninguna otra digamos de forma “legal”.

Por ejemplo cuando estás realizando un curl de bíceps con barra y, al final de la serie, para hacer un par de repeticiones extra, das un pequeño impulso con la espalda (lumbares) para pasar ese punto muerto cuando el brazo y el antebrazo están formando un ángulo de 90°.

Después la bajada será lenta, controlando el peso.

### **Principio de repeticiones forzadas**

Es la técnica de intensificación, que se puede emplear cuando al final de una serie ya no podemos realizar ni una sola repetición más y solicitamos la ayuda de un compañero de entrenamiento, lo que nos permitirá efectuar (con su ayuda) un par de repeticiones más allá del fallo muscular positivo. El compañero nos ayuda durante la fase positiva o de elevación del peso a realizar la repetición, y luego la bajada o fase negativa del ejercicio la realizamos solos, controlando el citado peso. Sirva de ejemplo el ejercicio anterior: en un curl de bíceps con barra, cuando ya no podemos elevarla ni una sola vez más, el compañero nos ayuda a subirla y nosotros la bajamos lentamente. Otro ejemplo puede ser cuando al efectuar un curl concentrado con mancuerna u otro ejercicio a un brazo, y ya nos es imposible realizar uno más, nos ayudamos con la mano libre. Este tipo de técnica de intensificación no debe hacerse en todos los entrenamientos, ni en todos los ejercicios ni series, pues corremos el riesgo de sobrepasar el umbral de excitación y llegar al sobreentrenamiento; por lo que debe estar reservado a culturistas avanzados o experimentados.

### **Principio de descanso-pausa o rest-pause**

Giovanni Cianti dice de este principio que es el más duro.

Es un hecho fisiológico que nadie pone en duda que, tras un esfuerzo, el músculo recupera en pocos segundos parte de la energía perdida, pudiendo así seguir trabajando. En el caso de ejercicios anaeróbicos, como el levantamiento de pesos, el aporte

energético se hace a costa del ATP-PC, resintetizándolo en unos pocos segundos, lo que nos permite seguir entrenando.

Para realizar esta técnica tomaremos una barra cargada con un peso que sólo nos permita elevarlo una o dos veces. A continuación efectuamos una o dos repeticiones y descansamos durante diez o quince segundos sin posar la barra en el suelo, y realizamos nuevamente otras dos repeticiones, descansando otros diez o quince segundos. Seguidamente ejecutamos una repetición, descansamos quince segundos, e intentamos una repetición más, completando así una serie de descanso-pausa. Después posamos la barra en el suelo, le quitamos 10 o 15% del peso, e iniciamos la segunda serie, hasta completar las series programadas. Sin ninguna duda la intensidad de este ejercicio será tremenda.

### **Principio de “fallo” muscular**

Consiste en llevar algunas de las series, o de ciertos ejercicios de un entrenamiento, hasta el punto de cansancio límite, de manera que sea completamente imposible realizar una sola repetición más, lo que se conoce en el argot culturista como “el punto de fallo muscular”.

Por ejemplo, en el curl de bíceps con barra se realizan 10, 11, 12 o las repeticiones que se puedan hacer rigurosamente, hasta que materialmente no se puede despegar la barra de los muslos (punto inicial del ejercicio), lo que significará que hemos llegado al fallo muscular o funcional.

### **Principio de series pesada-ligera o series descendentes**

Por ejemplo, en el ejercicio de squat o sentadilla, se prepara una barra con una carga pesada para realizar cinco repeticiones como máximo. A continuación, entre dos compañeros, nos quitan rápidamente un par de discos de la barra y realizamos otras tres o cuatro repeticiones, nos vuelven a quitar otros dos discos y efectuando dos o tres repeticiones más, y así sucesivamente, disminuyendo el número de repeticiones hasta completar la serie descendente. Habitualmente, con dos reducciones de peso bastará para grupos pequeños, pero si el músculo trabajado es de los calificados grandes, como las piernas, el pecho, la espalda, podremos hacer tres o cuatro reducciones de peso.

### **Principio de medias repeticiones (Burns o quemadas)**

Las quemadas son repeticiones rápidas hechas a medias, es decir, sobre una parte del recorrido total del ejercicio, que se realizan cuando en una serie ya no podemos efectuar más reiteraciones positivas completas. Ejemplo: en el press de banco horizontal, después de hacer 6 u 8 repeticiones completas, realizamos a continuación otras 4 o 5 repeticiones medias o parciales (sin llegar a extender completamente los brazos). Este tipo de ejercitación nos hace acumular gran cantidad de ácido láctico, por lo que al finalizar la serie se tiene esa sensación de quemazón muscular y de ahí el nombre que se le da a esa técnica o principio de entrenamiento culturista.

### **Principio o técnica de preagotamiento**

Al trabajar un grupo muscular grande, casi siempre colaboran los músculos pequeños auxiliares o adyacentes que, como es lógico, se agotan primero dejando a medias al grupo muscular grande. Así pues, esta técnica se creó como respuesta a esta situación y consiste en efectuar en primer lugar una superserie de un ejercicio de aislamiento, seguido de un ejercicio básico para el grupo muscular grande que queremos entrenar. Ejemplos:

#### **Pectoral**

- Aperturas con mancuernas en banco horizontal
- Press de banco horizontal

## Hombros

- Elevaciones laterales con mancuernas
- Press tras nuca

## Superseries, triseries y series gigantes

Una superserie consiste en realizar un ejercicio seguido de otro para grupos musculares antagonistas. Ejemplos:

- Curl de bíceps con barra
  - Tríceps francés con barra
  - Prensa 45°
  - Femoral acostado en máquina
- } Superserie para brazos (bíceps-tríceps)
- } Superserie para muslos (cuadriceps-femorales)

Pero también se entiende por superserie realizar dos ejercicios continuos del mismo grupo muscular. Este tipo de superserie es más dura que la anterior, ya que inciden los dos ejercicios sin descanso en el mismo músculo. Ejemplo:

- Curl de bíceps con barra
  - Curl concentrado con mancuerna
  - Tríceps francés con barra
  - Patadas de tríceps con mancuerna
  - Sentadillas
  - Extensiones de piernas en máquina
- } Superserie para bíceps
- } Superserie para tríceps
- } Superserie para cuadriceps

Todavía podemos intensificar más las superseries anteriores, haciendo tres ejercicios seguidos para un mismo grupo muscular, lo que recibe el nombre de triserie, usada sobre todo para grupos musculares con tres cabezas, como por ejemplo el Deltoides.

- Press tras nuca
  - Elevaciones laterales con mancuernas
  - Vuelo Posterior
- } Triserie de hombros

Y finalmente como último grado de intensidad, tenemos las series gigantes, que consisten en seleccionar cuatro o más ejercicios y realizarlos de forma continua, bien para el mismo grupo muscular o para dos grupos antagonistas. Ejemplo de serie gigante para un mismo grupo muscular: Cuádriceps.

- Sentadilla
- Estocadas

- Prensa 45°
- Extensiones de piernas en máquina

Ejemplo de serie gigante para dos grupos musculares antagonistas: muslo, cuádriceps-femoral.

- Sentadilla
- Curl femoral acostado
- Extensiones de piernas en máquina
- Peso muerto

### **Técnica de entrenamiento contra el reloj**

Es muy similar al principio de calidad y, por lo tanto muy sencillo. Si en un entrenamiento normal efectuamos 20 series de ejercicios en 30 minutos, el entrenamiento contra el reloj consiste en intentar efectuar más series (por ejemplo 24) en el mismo tiempo (30 minutos). Así pues, a medida que estemos más entrenados intentaremos realizar mayor número de series en un mismo tiempo. Hay que tener en cuenta que esta técnica se basa en realizar los ejercicios con cierta rapidez (velocidad), pero correctamente; tratando de disminuir los tiempos de descanso tanto entre series como entre ejercicios. Este tipo de trabajo aumenta la frecuencia cardiaca, pasando a ser más aeróbico, ayudándonos a quemar mucha grasa y a sudar profusamente.....

### **Técnica de contracción en el máximo**

Se trata de que al final de cada repetición, en el punto de máxima contracción, cuando la flexión o extensión de la articulación es máxima, se debe aguantar la contracción unos segundos, aumentando de este modo la tensión muscular, lo que hace contraerse a un mayor número de fibras musculares.

Se prestan especialmente para estas técnicas los ejercicios que se realizan en las máquinas de musculación, como por ejemplo, extensiones de piernas en máquina, curl femoral de piernas en máquina, pectoral en la máquina Pec-Deck o contractor, siendo este método especialmente efectivo en máquinas con poleas excéntricas, tipo Nautilus.

### **Principio de isotensión**

Es muy sencillo y utilizado por los culturistas, especialmente cuando se acerca la fecha de competición. Consiste en tensar los músculos y aguantar esta tensión durante 8 o 10 segundos, justamente después de acabar una serie, un ejercicio o el entrenamiento. Estas isotensiones se realizan en las posiciones habituales de las "poses" de competición. Ejemplo: Si estamos ejercitando el bíceps mediante el curl con barra, al finalizar la serie posamos la barra y adoptamos la posición de "doble bíceps", tensando de forma isométrica los músculos ejercitados, o sea, tensando los bíceps al máximo, sin movimiento y aguantando durante unos segundos. El objetivo será conseguir un gran control muscular, separación muscular, definición, desarrollo muscular, etc.

## **MÉTODOS DE ENTRENAMIENTO PARA LA FUERZA MÁXIMA:**

- **Métodos Concéntricos**
- **Método Excéntrico**
- **Método Isométrico**

### **Método Concéntrico:**

#### **-Método de intensidades máximas I:**

intensidades de 90 -100%, con 1-2 repeticiones por serie (4-8)

#### **- Método de intensidades máximas II:**

intensidades de 80 -90%, con 2 - 3 repeticiones por serie (4-5)

#### **-Método de repeticiones I:**

intensidades de 80 - 85%, con 5 – 7 repeticiones por serie (3-5)

#### **-Método de repeticiones II:**

intensidades de 70 - 80%, con 6-12 repeticiones por serie (3 a 5)

#### **-Método de repeticiones III:**

intensidades de 60 - 75%, con 6 - 12 repeticiones por serie (3-5)

#### **-Método Mixto o Pirámide:**

intensidades de 60 - 100%, con 1 - 8 repeticiones en las series (7-14)

#### **-Método Concéntrico puro:**

intensidades de 60 - 80%, con 4 - 6 repeticiones en las series (4-6) - suprimiendo la fase excéntrica

#### **-Método de contrastes:**

combinando bajas y altas intensidades a la máxima velocidad

de ejecución – 2 a 6 repeticiones en las series (6-8)

### **Método Excéntrico:**

Se trata de ejecutar la fase excéntrica con más fuerza o carga que la concéntrica, en un mismo movimiento:

- Fase excéntrica al 120% del 1RM
- Fase concéntrica al 80% del 1RM

### **Método Isométrico:**

Una contracción isométrica (estática) es aquella en la que los músculos implicados ejercen una tensión sin acercar ni alejar sus puntos de inserción.

\*Nota: éstos métodos, como los del entrenamiento de la **Fuerza Rápida, Explosiva y de la Potencia** serán desarrollados en el curso, en clases teórico-prácticas