

TRABAJO TESINA PARA EL TITULO DE LICENCIA  
EN KINESIOLOGIA EFECTUADO POR LA SRTA.

MARIA VICTORIA PLA.

Y EL PROFESOR DE EDUCACION FISICA, SR.

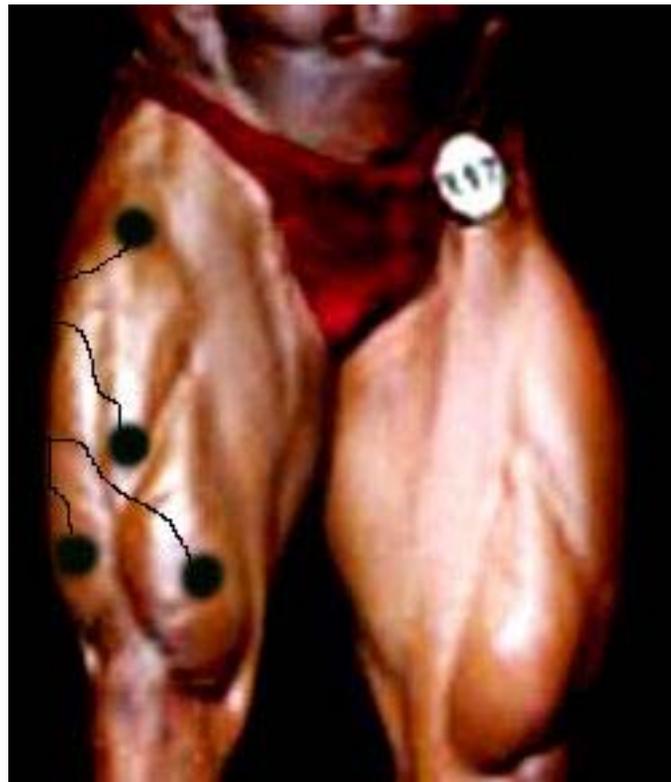
EDGARDO GRISOLIA

TEMA: HIPERTROFIA CON ONDAS RUSAS  
EQUIPO UTILIZADO: ONDAS RUSAS TEXEL

Universidad Nacional de San Martín  
Instituto de Ciencias de la Rehabilitación y el Movimiento  
Licenciatura en Kinesiología y Fisiatría  
Sede Rosario.

Tema

“CORRIENTES RUSAS COMO MÉTODO DE  
ENTRENAMIENTO PARA LA HIPERTROFIA MUSCULAR,  
EN CULTURISTAS.



Autora: Plá María Victoria.  
Tutor de tesina: Klgo. Luís Craft.  
Septiembre, 2005.

*Dedicatoria*

*A mis padres y hermano, familiares, a mis amigos especialmente a Melina, Cintia, Paola y Diego.*

## Agradecimientos

*Mi más sincero agradecimiento al Profesor de Educación Física Edgardo Grisolia con el cual ideamos y llevamos a cabo este estudio, quien compartió no solo el desafío y la incertidumbre de descubrir nuevos caminos en los métodos de entrenamiento, sino que demostró su generosidad poniendo su gimnasio a disposición del trabajo experimental.*

*A la participación desinteresada y excelente predisposición de los culturistas que se prestaron voluntariamente para participar en dicho estudio.*

*A la empresa "TEXEL", especialmente al señor Roberto Gibbons por facilitarnos el equipo generador de Ondas Rusas y por habernos brindado su confianza y apoyo incondicional para llevar a cabo este estudio.*

*A mi director de tesina y gran maestro Luis Craft.*

*A mi familia que sin ellos nada hubiese sido posible y todas las personas que colaboraron para que este estudio deje de ser una idea y se convierta en un hecho real.*

## **Abstract**

El presente trabajo tiene como objetivo el estudio de la electroestimulación neuromuscular (EENM) utilizando las Corrientes Rusas, como uno de los posibles métodos de entrenamiento para el aumento de la masa muscular (hipertrofia muscular).

El tema propuesto provoca controversia científica sobre su eficacia y utilidad generando dudas en la comunidad profesional. Se cree que esto es debido a la falta de difusión de los apuntes escritos, por el científico ruso Yakov Kots y a la complejidad de la traducción de la lengua. Solo fragmentos de traducciones de sus conferencias entregados en la Universidad de Concordia en 1977, muestran los resultados de la aplicación de estas corrientes excitomotoras en deportistas de elite.

Están los que no las usan por desconocimiento y falta de información científica; así como los que hacen uso indiscriminado de las mismas simplemente por llevar el nombre de corrientes de Kots.

Para el desarrollo de este estudio aplicamos una onda portadora de 2500Hz, modulada en trenes de onda de 50Hz.

Se estudió el desarrollo de la hipertrofia muscular del cuadriceps femoral en 6 culturistas con antecedentes de 2 años y 6 meses de entrenamiento previo. Los mismos continuaron con el entrenamiento de rutina de hipertrofia (tres ejercicios específicos aplicados al cuadriceps femoral), al cual le sumamos la aplicación de un protocolo de EENM en uno de los ejercicios (extensión de rodilla en la cuádriceps) en el muslo de menor perímetro. El protocolo fue diseñado teniendo en cuenta las bases teóricas y empíricas de varios métodos de entrenamiento de sobrecarga para conseguir la hipertrofia muscular.

Se realizaron mediciones antropométricas específicas (perímetro del muslo medial) antes y después de la aplicación del protocolo.

Se compararon ambos métodos de entrenamiento (tradicional y con EENM) evaluando la eficacia del protocolo de EENM con el uso de las Corrientes Rusas, como método de entrenamiento complementario al entrenamiento tradicional.

Los resultados obtenidos muestran que el 66% del total de los culturistas, obtuvo mejoras significativas en el aumento de la masa muscular y datos que enfatizan que el

entrenamiento tradicional de sobrecarga es superado con el complemento de la electroestimulación.

Las conclusiones a las que se ha abordado son transitorias ya que se reducen al grupo de culturistas con el que se ha trabajado hasta el momento. Dado que los resultados han sido favorables en términos de lo planteado en la hipótesis, este estudio sienta las bases para una investigación posterior con un grupo experimental más numeroso y durante un tiempo más prolongado.

## Índice

---

<b>Abstract</b>	4
<b>Introducción</b>	7-9
<b>Fundamentación</b>	10-13
<b>Capítulo 1</b> <i>Los Tejidos excitables.</i>	14-17
<b>Capítulo 2</b> <i>Fisiología de la contracción muscular inducida por la por acción voluntaria.</i>	18-20
<b>Capítulo 3</b> <i>Fisiología de la contracción muscular inducida por la estimulación eléctrica.</i>	21-26
<b>Capítulo 4</b> <i>La Corriente eléctrica.</i>	27-37
<b>Capítulo 5</b> <i>La Hipertrofia Muscular.</i>	38-42
<b>Capítulo 6</b> <i>Mediciones antropométricas.</i>	43-45
<b>Estudio experimental</b>	46-59
<b>Conclusión</b>	60-61
<b>Anexo</b>	62-69
<b>Bibliografía</b>	70-73

---

## **Introducción**

El cuerpo humano se mueve gracias a impulsos eléctricos. Para entender la acción de la electroestimulación neuromuscular (EENM) es necesario compararla a la acción voluntaria. En ésta el sistema nervioso central (SNC) envía un mensaje en forma de estímulo eléctrico hasta la placa motora que se halla en el músculo facilitando su contracción. La EENM provoca el fenómeno natural de excitación nerviosa hacia las fibras musculares que responden con una unidad de trabajo a una cierta frecuencia, que sumada a otras induce el mismo resultado. La EENM es pues un medio de imponer a las fibras musculares un trabajo y estas progresan gracias al trabajo que realizan.

Ya en el antiguo Egipto era conocida la existencia de una corriente natural, como lo demuestra el encuentro de un grabado de un pez eléctrico en una tumba datada del 2750 a. C. El primer protocolo de electroterapia se remonta al 46 a. C. Cuando Scribonius Largus escribe: “Para todo tipo de gota se debe colocar un pez torpedo vivo bajo el pie del paciente”<sup>(1)</sup>. Es en el siglo XVIII, cuando la EENM comienza a utilizarse como método terapéutico de forma previa a que los pacientes pudieran hacer ejercicios voluntarios, para el tratamiento de parálisis y para la prevención y/o restauración de las funciones musculares.

Los tejidos orgánicos han sido expuestos a diferentes protocolos de trabajo, se considera que Luigi Galvani, en 1791 fue uno de los precursores del uso de la EENM con el fin de contraer la musculatura<sup>(2)</sup>. Sin embargo fue el científico ruso Yakov Kots (especialista en Medicina Deportiva de la Academia de Moscú) quien, avocado al desarrollo de las Corrientes Rusas y al trabajo experimental temprano en esta área, utiliza por primera vez la EENM como complemento de los métodos tradicionales de trabajo de la fuerza muscular en el entrenamiento del atleta olímpico Borzov, posteriormente campeón olímpico en 1972 de 100 m en atletismo<sup>(3)</sup>. Kots demuestra la ganancia de la fuerza muscular en un 40% en atletas de elite, un aumento de 10cm del salto vertical y un 10% de aumento en el diámetro de la sección transversal de las miofibrillas tras un protocolo de estimulación, con el objetivo de complementar el trabajo voluntario. Son interpretaciones de su trabajo original las que posteriormente han sido publicadas por diversos autores principalmente ingleses, los que en definitiva las han hecho populares. Así también un grupo de franceses con Gilles Cometti a la cabeza realizaron a lo largo de estos últimos años estudios científicos muy interesantes en deportistas.

Hoy en día las llamadas Corrientes Rusas, en realidad, perduran por su nombre pero poco mantienen de las ideadas por Kots. Resulta comprensible la escasa cantidad de estudios científicos relacionados al tema así como la gran controversia existente entre sus respectivos autores. Esto es debido a la heterogeneidad existente en los parámetros utilizados, la frecuencia de la corriente y el tipo de onda empleada, las propiedades del electroestimulador, el tipo de sujeto a estimular, así como la actuación competente o no del profesional a cargo<sup>(4)</sup>.

El desarrollo de la masa muscular es una llave importante para la rehabilitación y para ciertas disciplinas deportivas. En estos últimos años el auge de la EENM va de la mano de la estética y la mejora del rendimiento deportivo. Las investigaciones demuestran la eficacia de la EENM y la mayoría de los especialistas coinciden en la necesidad de la práctica conjunta al entrenamiento voluntario para la mejora de casi todas las capacidades motoras del ser humano. En la mayoría de los trabajos consultados que evaluaron la influencia de diferentes programas de entrenamiento con EENM se obtuvieron resultados positivos independientemente de la cualidad física analizada predominando como objeto de estudio la fuerza muscular<sup>(5),(6),(7)</sup>.

Muy pocos son los autores que han investigado el impacto que produce la EENM sobre la hipertrofia muscular en deportistas o individuos sanos. Mientras algunos dicen comprobar la hipertrofia muscular otros niegan la eficacia de la EENM para dicho fin.

Cometti (1988), reporta un incremento de la masa muscular de 2 a 5cm luego de 3 semanas de electroestimulación en el cuádriceps femoral de un deportista de salto en largo<sup>(8)</sup>. En otro estudio Gillet y Cometti (1990), muestran un aumento de la masa muscular del bíceps braquial del 4,5% después de 3 semanas de estimulación eléctrica en boxeadores competitivos<sup>(3)</sup>. Turostowski, Fayolle y Cometti (1991), evalúan el aumento de la masa muscular del cuádriceps sobre un grupo de deportistas de triple salto. Utilizan cortes escanográficos efectuados antes y después del protocolo obteniendo porcentajes significativos de un 4% a un 8% en 3 semanas de electroestimulación (ganancia que supera de 2 a 4 veces los logros obtenidos por el grupo control, el cual continuó con el entrenamiento regular voluntario de fuerza muscular). Al mismo tiempo el grupo control solo progresa un 2%, ganancia que no fue significativo<sup>(9)</sup>. Krcka and Zrubak (1970) reportan aumentos en los bíceps del 10.8% y

en la pantorrilla del 9.9%<sup>(10)</sup>, mientras que Kots and Chwilon (1971) muestran hipertrofia en un 3,8% también en los bíceps<sup>(11)</sup>.

No obstante Assadi y Cometti (1991), exponen que sobre un grupo de corredores de medio fondo, quiénes siguen un entrenamiento rutinario de resistencia, mientras que los parámetros de fuerza del cuádriceps mejoran, no se registra ninguna modificación de la masa muscular para el mismo período de trabajo. El entrenamiento del tríceps sural sobre deportistas (Martin y colaboradores, 1994) no implica ninguna modificación de la masa muscular<sup>(12)</sup>.

Hay que preguntarse que variables son las que influyen en el desarrollo de la masa muscular; así como los parámetros de la corriente utilizada, el tipo de sujeto (sedentario o deportista); en definitiva son las características propias de cada estudio, las que promueven resultados tan dispares como los expuestos anteriormente.

Se realiza el siguiente estudio, con el objetivo de conocer con mayor exactitud el comportamiento de las Corrientes Rusas para el desarrollo de la masa muscular (hipertrofia muscular). Diseñamos un método de entrenamiento con EENM, construido a semejanza del método tradicional de entrenamiento de sobrecarga realizado en la sala de musculación, y lo aplicamos a culturistas; ampliando de esta manera el campo de acción del Kinesiólogo, quien muchas veces, por desconocimiento o falta de unificación de criterios, descalifica o por el contrario hace uso indiscriminado de la EENM. El presente estudio no pretende reemplazar el trabajo muscular voluntario, sino por el contrario complementar al mismo.

## **Fundamentación**

Cuando el cerebro desea producir una contracción muscular genera impulsos eléctricos que son conducidos por las neuronas eferentes. Son controlados en número, forma e intensidad, coordinados y dirigidos por las vías adecuadas a los axones correspondientes mediante activaciones e inhibiciones selectivas en las sucesivas sinapsis continuas. El impulso llega por las distintas terminaciones axónicas hasta las sinapsis localizadas entre terminaciones nerviosas y fibras musculares, separadas por un espacio donde el estímulo eléctrico genera la acetilcolina. La acetilcolina produce cambios químicos en la membrana de la fibra muscular, haciendo que esta conduzca los iones despolarizándose y generando su correspondiente trabajo la *contracción muscular*.

Con la EENM la forma de transmisión del estímulo es bidireccional. Se dirige hacia la zona periférica actuando sobre las fibras nerviosas sensibles, (ortodrómica, como sucede en la contracción voluntaria) así como también hacia el SNC, en las fibras motoras y vegetativas (antidrómica).<sup>(13)</sup>

Existe la evidencia necesaria para afirmar que la EENM genera adaptaciones neuromusculares similares, a veces superiores a las producidas por el SNC con la mínima fatiga psicológica y cardiovascular<sup>(14)</sup>. Estas adaptaciones se logran si se realizan siguiendo los principios de entrenamiento.

El *entrenamiento* es el conjunto de las actividades físicas que tienden a provocar o a mantener en el organismo ciertas adaptaciones y transformaciones funcionales o morfológicas, y por lo tanto, el aumento y la mejora del rendimiento. Esta adaptación como fenómeno de adecuación a un estímulo, se expresa como una reacción global del organismo, codificada por Hans Selye como “*Síndrome general de adaptación*”. En el caso de que el estímulo aplicado sea la EENM, siempre y cuando se programe un entrenamiento, se obtendrán resultados similares a los de un entrenamiento voluntario<sup>(1)</sup>. Se establece que tras un período de entrenamiento con EENM los datos electromiográficos (indicadores del grado de reclutamiento muscular) aumentan, así también la fuerza muscular<sup>(15),(16)</sup>. Maffiuletti concluye que el entrenamiento con EENM aumenta el reclutamiento de las unidades motoras, disminuyendo el umbral de activación de las fibras, o por una creciente conexión con el SNC<sup>(17)</sup>.

Varios estudios reportan una ganancia de fuerza en el miembro opuesto, (sin ser entrenado) durante el entrenamiento con EENM. Este efecto cruzado es ampliamente

justificado con el entrenamiento concéntrico y excéntrico. Hortobagyi y cols. (1999) encuentra que este efecto cruzado es exactamente igual al que sucede en un entrenamiento voluntario, afirmando que el entrenamiento con EENM tiene efectos neuromusculares significativos<sup>(18)</sup>. Weineck, (1996); Duchateau, (1993), concluyen que a pesar de las adaptaciones neuromusculares, la EENM incide muy levemente sobre el estado de fatiga del SNC, lo que permite un trabajo más intenso, con mejores adaptaciones sin riesgos de un sobreentrenamiento<sup>(19),(20)</sup>.

La idea es complementar la EENM al trabajo voluntario a través de métodos dinámicos; hacer uso de los beneficios de ambos métodos de entrenamiento obteniendo excelentes resultados. Por lo dicho anteriormente se puede pensar que la EENM sirve como método de entrenamiento.

Son las características del protocolo de EENM las que permiten adaptar neurofisiológicamente los tejidos excitables con el consecuente aumento de la masa muscular, como ocurre durante el entrenamiento tradicional de sobrecarga en la sala de musculación.

Hemos visto que a lo largo de la historia el concepto de electroestimulación neuromuscular sufre diversas modificaciones y se amolda a las necesidades e incertidumbres de los científicos abocados al tema, siendo actualmente una herramienta valiosa para el entrenamiento deportivo, la estética, así como para la fisioterapia en general.

En el marco de la fisioterapia, la EENM bien sea mediante una corriente alterna o una corriente directa interrumpida puede tener objetivos diversos: el tratamiento de un músculo sano, uno inmovilizado, el músculo denervado y el afectado por una lesión en la neurona motora superior, siendo importante esta distinción en cuanto a la forma, intensidad, duración del estímulo y tipo de corriente a utilizar.

La electroestimulación neuromuscular se realiza en un nervio eferente motor y se conoce como EENM para distinguirla de la TENS que actúa sobre las fibras aferentes.

Una cuestión importante es conocer si se estimula el músculo directamente o la estimulación pasa por el nervio. Enoka (1988) dice que aunque se coloque un electrodo en el punto motor de un músculo (placa motora), la excitabilidad nerviosa supera la muscular<sup>(21)</sup>; por lo tanto se estimulan las fibras nerviosas del paquete vasculo nervioso de dicho músculo, se conoce con el nombre de *estimulación indirecta*. La excepción es

el músculo denervado, en el que con el nervio degenerado y solo a intensidades superiores, se llegan a estimular directamente las fibras musculares.

En el presente trabajo se estudia la aplicación de la corriente alterna de media frecuencia, modulada en trenes de onda de baja frecuencia teniendo como objeto a tratar: al músculo sano, con su sistema periférico intacto para optimizar el rendimiento de las fibras musculares INTERMEDIAS O TÓNICO-FÁSICAS, responsables del aumento de la masa muscular (hipertrofia muscular).

La hipertrofia muscular se manifiesta por un aumento del volumen del músculo. Es el efecto buscado en el culturismo. No hay creación de nuevas fibras musculares, cuyo número permanece estable y viene establecido genéticamente. De todas formas existe un aumento de las miofibrillas en cada fibra o un aumento del sarcoplasma (dependiendo del tipo de entrenamiento realizado) lo que determinara los distintos tipos de hipertrofia, que más adelante explicaremos. La hipertrofia se consigue con una actividad continuada, con pocos descansos y llegando a la fatiga, o mejor conocido al *Fallo Muscular*. Se entiende como fallo muscular a la incapacidad momentánea para seguir completando un recorrido completo en la fase positiva de un movimiento. Se produce en el ángulo más débil de dicho recorrido<sup>(22)</sup>.

Actualmente se busca copiar los impulsos nerviosos naturales que circulan en los músculos diseñando protocolos de entrenamiento que complementen y acrecienten las capacidades motoras humanas.

En respuesta a quienes califican a la EENM como artificial, pasiva y peligrosa, nos referimos al entrenamiento moderno, en donde los culturistas trabajan con cargas de 120 a 150% de su capacidad máxima, realizan pliometrias con alturas de salto superiores a 2mts, este método, sin ser “natural”, resulta inocuo, menos peligroso y fisiológicamente aceptable, siempre que actuemos con prudencia y criterios razonables.

La EENM es un método de entrenamiento complementario ya que ocupa tan solo un 20-30% del entrenamiento del atleta, porcentaje del que solo puede aprovechar si sus aptitudes físicas lo permiten. De esta manera, un culturista, tiene que entrenar durante un período prolongado para adquirir la capacidad de alcanzar el fallo muscular, producir la degradación de las proteínas musculares, y durante el reposo se active el proceso de síntesis proteica con la consecuente HIPERTROFIA MUSCULAR. Con estas características el deportista puede participar activamente del entrenamiento con

electroestimulación, condición necesaria para obtener resultados óptimos. El mismo soporta la estimulación y para progresar está obligado a imponerse tensiones tan difíciles de aguantar como las tensiones voluntarias; comparar la EENM con un método pasivo de entrenamiento no tiene lógica<sup>(3)</sup>.

Conocer los tejidos excitables, la fisiología de la contracción muscular voluntaria y electroinducida, los parámetros generales y específicos de la corriente eléctrica son algunas de la temáticas expuestas a continuación.

# MARCO TEÓRICO

## CAPITULO 1

---

### **LOS TEJIDOS EXCITABLES**

Los tejidos vivos, principalmente el nervioso y el muscular, por ser excitables, poseen la capacidad de reaccionar frente a cambios en su medio interno o a variaciones energéticas del medio externo. Dentro de los diferentes estímulos posibles, experimentalmente los eléctricos son los más empleados. La magnitud de la reacción de dichos estímulos dependerá del tipo de tejido y sus características así como de la naturaleza de la corriente aplicada.

#### **El músculo**<sup>(23)</sup>

El músculo es una estructura compleja, está diseñado para contraerse, y por tanto permitir el movimiento de otros tejidos y órganos. Todos los músculos esqueléticos exhiben cuatro características:

- excitabilidad: capacidad para responder a los estímulos del sistema nervioso.
- elasticidad: capacidad para encogerse y volver a su longitud normal.
- contractilidad: capacidad para contraerse en respuesta a alguna orden neural.

Un músculo no es más que un acúmulo de células cada una de ellas denominadas Miocitos, que por su forma, la cual es alargada también recibe el nombre de Fibra Muscular y está recubierta por la membrana; el sarcolema. Estos miocitos, también poseen citoplasma (Sarcoplasma), presenta retículo endoplásmico (Retículo Sarcoplásmico); y las mitocondrias (Sarcosomas). Las células musculares también presentan otras estructuras como los Túbulos T que le permiten transportar el impulso nervioso a lo largo de la fibra muscular.

La musculatura fásica, es decir la sometida al control voluntario, destinada a la ejecución de todos los gestos dinámicos, es de tipo estriado. El músculo estriado consta de dos porciones el vientre muscular y sus tendones, que en conjunto se denominan unidad músculo tendinosa. El vientre muscular está compuesto de fibras elásticas,

independientes y paralelas llamadas miofibrillas, cada una compuesta por miles de sarcómeras, siendo esta “la unidad funcional del músculo”. Este nombre responde a la capacidad que tienen estas sarcómeras de contraerse simultáneamente todas en serie acortando así la fibra muscular longitudinalmente en toda su longitud. Las sarcómeras contienen miofilamentos de actina, troponina y tropomiosina (que forman el filamento delgado) y miosina.

El sistema muscular estriado está formado por un gran abanico de fibras de diversa composición, que se corresponden aparentemente con el comportamiento de cada músculo.

### **El tejido nervioso<sup>(23)</sup>**

Este tejido facilita la sensibilidad y comunicación del SNC con los músculos, órganos sensoriales, sistemas varios y la periferia. La célula nerviosa básica es la neurona. El cuerpo de la neurona contiene un gran núcleo y ramificaciones llamadas dendritas, que responden a las sustancias neurotransmisoras emitidas por otras células nerviosas. De cada célula nerviosa surge un único axón que conduce los impulsos nerviosos. Los axones de mayor tamaño situados en los nervios periféricos están encerrados en membranas compuestas de células de Schwann, que están firmemente enrolladas en torno al axón. Un nervio es un haz de células nerviosas unidas por el tejido conectivo, por regla general una capa de lipoproteína llamada membrana de mielina en la parte exterior del axón.

### **Relación entre ambos tejidos - Unidad motora**

En condiciones normales, una sola fibra nerviosa inerva varias fibras musculares. Desde un punto de vista funcional, la *motoneurona* (del asta anterior de la médula espinal), *su axón mielinizado*, (se extiende en a través de los nervios periféricos) y *las fibras musculares* a las que inerva se comportan como una unidad, la **UNIDAD MOTORA**. En las proximidades de cada fibra muscular el axón va ensanchándose progresivamente, pierde su vaina de mielina, produce minúsculas ramificaciones y se sitúa en unos surcos que encuentra en la fibra muscular: esta zona constituye la placa terminal motora.

La motoneurona es elemento destinado al control de la contracción y que desarrolla la función de un interruptor para las fibras a las que está conectado. Este elemento recoge

y “pondera” todos los estímulos, excitadores e inhibidores, que le llegan para después transmitir a las fibras que están bajo su control el posible impulso excitador.

Con la transmisión y la interpretación de las señales procedente del SNC así como de la electroestimulación, una UM permite que se produzca la contracción simultánea de todas las fibras musculares que inerva; el potencial de acción, o excitación del nervio, es un *fenómeno de todo o nada* sin escalones intermedios. O responde o no responde según la eficacia del estímulo, pero siempre de la misma manera<sup>(1)</sup>.

### **Tipos de unidades motoras y fibras musculares<sup>(24)</sup>**

Las motoneuronas son las que determinan las propiedades del músculo, y es por eso que es de especial interés conocer sus características histoquímicas para así determinar el tipo de entrenamiento que provocará su excitación con las consecuentes adaptaciones neurofisiológicas.

Existen diversas clasificaciones propuestas por los autores consultados. Tomando la clasificación de J. Plaja existen tres tipos de motoneuronas:

- **UNIDADES MOTORAS TÓNICAS**
- **UNIDADES MOTORAS TÓNICO-FÁSICAS**
- **UNIDADES MOTORAS FÁSICAS**

Las UM Tónicas tienen una motoneurona pequeña, un axón de poco diámetro y fibras musculares de Tipo I. Son las unidades responsables de las contracciones estáticas o posturales.

Las UM Tónico-Fásicas, con fibras de Tipo IIb, con propiedades mixtas.

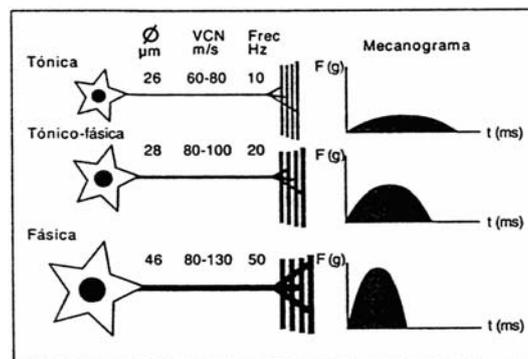
Las UM Fásicas, tienen una motoneurona más grande, mayor diámetro de axón y fibras Tipo IIa, son las encargadas de contracciones breves de máxima fuerza y velocidad.

Las fibras musculares pueden ser de más de tres tipos según diversos autores, pero en relación a la clasificación anterior continuamos con los lineamientos de J. Plaja clasificándolas de la siguiente manera:

**FIBRAS TIPO I.** de contracción lenta y resistentes a la fatiga. Son ricas en enzimas oxidativas, pobres en glucógeno y en actividad de fosforilasa.

**FIBRAS TIPO IIa.** de características intermedias entre las fibras tipo I y las tipo IIa. Las fibras IIb son de contracción relativamente rápida y resistentes a la fatiga. Tienen alta actividad oxidativa y glucolítica y alta actividad ATPasa.

**FIBRAS TIPO IIb.** de contracción rápida y fácil fatiga. Tienen alta actividad de fosforilasa, pobres en actividad oxidativa y con fuerte actividad ATPasa.



**Figura 1-** Propiedades de los tres tipos de unidades motoras. Las tónicas son pequeñas y de contracción lenta, resistentes a la fatiga. Las Fásicas mayores tiene una contracción más potente pero con rápida fatiga.<sup>(24)</sup>

<sup>(24)</sup> J.Plaja- Analgesia por medios físicos- Editorial McGRAW-HILL-INTERAMERICANA (2003)

## CAPÍTULO 2

---

### **FISIOLOGÍA DE LA CONTRACCIÓN MUSCULAR INDUCIDA POR LA ACCIÓN VOLUNTARIA**

Durante una actividad voluntaria la unidad motora comienza a funcionar con una frecuencia baja, de 10Hz o menos, y la va aumentando hasta su máximo, en general inferior a 50Hz, que puede mantener hasta fatigarse o ser sustituida. El mecanismo de incremento de fuerza aumentando la frecuencia de descargas por segundo se llama *sumación temporal*.

Una estimulación aislada de intensidad subliminal puede volverse eficaz por repetición. Si las estimulaciones son más próximas se observa una fusión de contracciones elementales llamada tétanos fisiológico. Este tétanos puede ser incompleto cuando la frecuencia de estimulaciones es tal que su fusión es incompleta, o bien, completo para una frecuencia elevada. Cuando el esfuerzo solicitado va siendo mayor, se activan progresivamente más unidades motoras: es la llamada *sumación espacial*.

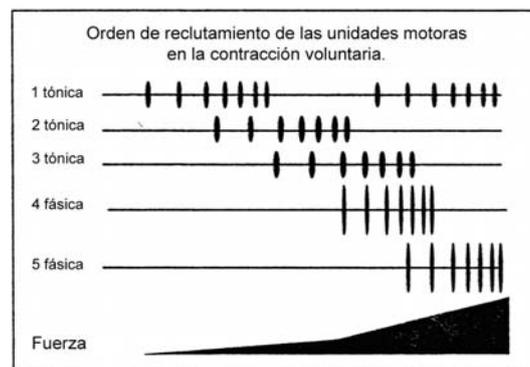
Con varias unidades en marcha se establece una rotación, una alternancia en el reclutamiento, de manera que el número es constante para un nivel determinado de contracción, pero las unidades individuales se van turnando, el tétano es *Asincrónico*, por lo tanto el estado de fatiga aparece en el momento en que las UM de reserva se agotan por completo. Un signo de fatiga muscular es la aparición de temblor al fallar la rotación regular de las UM<sup>(24)</sup>.

Ahora bien, cuando se realiza sistemáticamente un entrenamiento específico, el SNC tras el síndrome general de adaptación, utiliza también aquellas UM que eran “de reserva”, pues, a medida que el entrenamiento se hace más específico y se prolonga en el tiempo, necesita mayor cantidad de UM. Se establece en estos casos según algunos autores cierto reclutamiento sincrónico, totalmente necesario para poder potenciar ciertos gestos y capacidades motoras. Por ejemplo, se constata por EMG, que ante un gesto explosivo se utilizan solamente las fibras de tipo IIa, sin necesidad de activar primero las más lentas<sup>(1),(26)</sup>. Veremos luego que, a diferencia de la contracción

voluntaria, la contracción inducida eléctricamente genera un estado de fatiga precoz y mucho más notorio.

### **Frecuencias de descarga y reclutamiento motor**

La mayoría de los autores están de acuerdo en que durante una contracción voluntaria, según la *Ley de Henneman*<sup>(25)</sup>, las unidades motoras son reclutadas de las más pequeñas a las más grandes, conforme las necesidades de fuerza aumentan. (Principio de tamaño). Se activan primero las unidades tónicas con su comportamiento individual de sumación temporal, espacial y relevo, y manteniendo una fuerza moderada por un tiempo. A partir de un cierto nivel de exigencia de fuerza, se activan las unidades Tónico Fásicas y luego las Fásicas, mucho más enérgicas, aumentando significativamente la potencia de la contracción, pero por pocos minutos, ya que se fatigan pronto<sup>(24)</sup>.



**Figura2** - Orden de reclutamiento de las unidades motoras en la contracción. Primero se activan las tónicas y si la necesidad de esfuerzo aumenta se activan las fásicas<sup>(24)</sup>

Cuando el SNC activa una UM puede enviar diferentes frecuencias de descarga. La frecuencia es el número de impulsos nerviosos excitatorios que le llegan por segundo a cada UM, se mide en Herzios (Hz) y se encuentra en directa relación al grado de fuerza a realizar en una contracción. De esta manera, a medida que aumenta la fuerza, aumenta la frecuencia de descarga, por lo tanto el músculo recibe más impulsos nerviosos activando mayor cantidad de UM. Esto tiene un límite ya que en un punto máximo no se genera más fuerza a pesar de seguir incrementándose la frecuencia de estímulo.

<sup>(24)</sup> J.Plaja - Analgesia por medios físicos, Edit. McGRAW-HILL-INTERAMERICANA (2003).

Las UM Tónicas se activan con frecuencias del orden de los 10Hz si se emplean cargas de hasta el 15% de la fuerza isométrica máxima (FIM); al aumentar la fuerza al 30% de FIM, las UM continúan activas pero ahora con frecuencias de 10 a 15Hz. Cuando la carga es del 50% - 60% de la FIM, se activan las UM a frecuencias de 15Hz y a medida que progresa en aumento la carga, la frecuencia de se incrementa alcanzando los 30Hz. Cuando se trabaja a intensidades del 70% al 85% de la FIM se estimulan las UM fásicas con 30 a 50Hz, hasta que al alcanzar el 100% de la FIM todas las UM están activadas<sup>(26)</sup>. En resumen, sí el SNC envía frecuencias de impulsos del orden de los 25-30Hz incide sobre las UM que inervan a las fibras de Tipo I, 35-45Hz para UM que inervan a las fibras de tipo IIb y 50-60Hz para las que inervan a las fibras tipo IIa.

### **FISIOLOGÍA DE LA CONTRACCIÓN MUSCULAR INDUCIDA POR ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA**

La electroestimulación neuromuscular busca imitar la excitación y conducción fisiológica del nervio y obtener resultados similares a los producidos por el mecanismo de la contracción muscular voluntaria.

El axón, o la fibra nerviosa excitable, tiene una membrana de características especiales y está lleno de una solución de diversas sales. La excitabilidad depende de la permeabilidad sensible al voltaje de las membranas celulares. Las membranas celulares permiten la libre circulación de algunos iones, pero regula la de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ . Un mecanismo activo llamado bomba de sodio-potasio expulsa ambos iones hacia el exterior. La membrana es semipermeable y el potasio puede entrar de nuevo sin dificultad, pero no así el sodio, que permanece en el exterior donde se va acumulando lo que genera una diferencia de potencial entre el interior y el exterior del axón. El potencial de reposo en el interior oscila de -80 a -90mV. Se considera entonces que la membrana está polarizada.

Si en el exterior un electrodo negativo próximo libera electrones, éstos van despolarizando, haciendo menos negativos, el potencial de reposo de la membrana axonal. Cuando alcanza unos -40 mV, un nivel llamado umbral, se rompe el equilibrio y se desencadenan una serie de fenómenos irreversibles de la excitación axonal que se manifiestan en el *potencial de acción*.

En la membrana hay unos canales específicos de naturaleza proteica, que regulan el paso de sodio y potasio y cuyo comportamiento depende del voltaje. En reposo ambos están cerrados. Cuando el voltaje se hace menos negativo, y la membrana se despolariza al nivel umbral, los canales se abren y dejan que entre el sodio y salga el potasio. El canal de sodio se abre antes y los iones de sodio irrumpen bruscamente hacia el interior neutralizando el potencial negativo, e incluso invirtiéndolo durante unas décimas de milisegundo. Poco después se abren los canales de potasio hacia el exterior completando la inversión del potencial de membrana. Si se registra el potencial del

interior del axón con respecto al exterior este cambio es un pico llamado potencial de acción que indica que el nervio se ha excitado.

Inmediatamente después de la despolarización total se cierran los canales, el de potasio con mayor lentitud, y comienza un período de repolarización en el que, con los canales dependientes de voltaje ya cerrados y la bomba de sodio-potasio activa, se recupera el potencial de reposo normal y el potencial de acción, después de un pequeño rebote de hiperpolarización por el retraso en cerrar los canales de potasio, recupera el nivel de reposo<sup>(24)</sup>.

Estas reacciones electroquímicas requieren un tiempo determinado para realizarse en su ciclo electrolítico completo, desde el momento en que es aplicado un impulso eléctrico (por vía nerviosa o por electroestimulación), hasta que se recupera la polarización eléctrica de la membrana. Para las fibras lentas el ciclo electrolítico es 20ms de media, 10ms de media para las fibras intermedias, y 5ms de media, para fibras rápidas. Podría parecer que la apreciación mecánica de contracción coincidiera con los tiempos del ciclo electroquímico, pero lejos está de ser así. Si por ejemplo, sometemos a una fibra intermedia a un impulso aislado, palpando la contracción, ésta se realiza durante 30ms, mientras que a los 10ms la membrana ya está preparada para poder responder a otro impulso eléctrico (se insiste que estamos hablando de tiempos medios, pues cada conjunto neuromuscular mostrará los suyos específicos en cada momento y situación).

Este tiempo de contracción o acortamiento de las fibras musculares (30ms) se divide en dos períodos consecutivos: El tiempo de contracción (+10ms) y El tiempo de relajación (+20ms). Si pretendemos mantener la contracción durante unos segundos, aplicaremos impulsos con la suficiente secuencia como para no dejar que la fibra entre en el período de relajación, pero permitiendo simultáneamente la recuperación bioquímica y eléctrica en la membrana celular.

Durante la despolarización, y hasta parte del proceso de repolarización, la membrana es inexcitable y no puede responder a un nuevo estímulo. Es el llamado período refractario, absoluto al principio y relativo al final, ya que este último podrá responder a un estímulo más intenso.

El período refractario, es importante ya que limita la frecuencia máxima de respuesta del nervio a la estimulación. Si el período refractario es de 1ms y damos un segundo pulso a sólo 0.5ms no hay respuesta. Cuando la frecuencia de los pulsos es tal que las

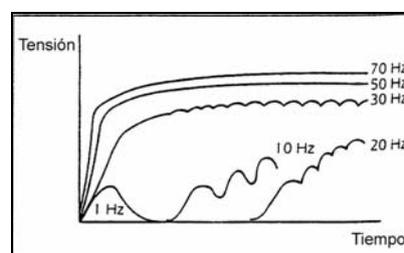
pausas son más pequeñas que el período refractario, el nervio responde al máximo de frecuencia, que no es la fisiológica, incrementando el estado de fatiga, pues ni el axón, ni la fibra muscular han tenido tiempo de recuperarse antes de la llegada del estímulo siguiente. Una vez repolarizada nuevamente la membrana será capaz de ser estimulada<sup>(27)</sup>.

### **Patrón de reclutamiento y frecuencia de descarga con EENM**

Al igual que ocurre en la contracción voluntaria, conforme aumenta la frecuencia de activación de las unidades motoras, también lo hace la tensión desarrollada por el músculo.

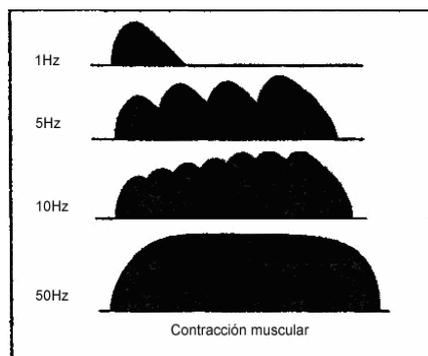
Como se cita anteriormente, la mayoría de los músculos estriados requieren de una frecuencia mínima de 10Hz para producir una situación en donde las contracciones comienzan a superponerse en forma de vibración o temblor, sin interrupciones. Conforme aumentamos la frecuencia, obtenemos contracciones cada vez más rápidas, con un periodo de relajación menor, y llegado un determinado momento alrededor de los 50 HZ, la frecuencia de los estímulos impide que se produzca la relajación muscular y las respuestas musculares, antes individualizadas, parecerán ahora como continuas, denominándose contracciones tetánicas.

Después de superado el umbral de estimulación motora, aumentos pequeños de la intensidad producen incrementos relativamente grandes de la tensión muscular y el reclutamiento de unidades aumenta rápidamente. Por ello los aumentos en la intensidad han de efectuarse con cuidado, para evitar contracciones demasiado intensas e indeseables, que puedan resultar peligrosas<sup>(13)</sup>.



**Figura3** - Relación entre la tensión muscular desarrollada y la frecuencia. Fusión de contracciones y tetanización<sup>(13)</sup>.

<sup>(13)</sup> M. Martínez Morillo, J.M.Pastor Vega, F. Sendra Portero- Manual de Medicina Física- Edit. Harcourt (2000).



**Figura 4** - Frecuencia de tetanización. A medida que la frecuencia de los pulsos aumenta y no da tiempo a relajar totalmente el músculo entre las contracciones, se produce un temblor o vibración. Si la frecuencia supera unos 50Hz la fusión de las contracciones es total y se observa tetanización o contracción<sup>(24)</sup>.

De forma similar al grado de fuerza en una contracción voluntaria, que activa secuencialmente los diversos tipos de unidades motoras, la EENM posee también una selectividad que depende de la duración de los pulsos, y sobre todo de la frecuencia.

Si bien es posible estimular solo las UM tónicas, con frecuencias de entre 20 y 30Hz, resulta imposible estimular solo las fásicas ya que con frecuencias de alrededor de los 60-70Hz se estimulan conjuntamente las tónicas y las intermedias<sup>(24)</sup>.

De esta manera, resulta posible reclutar cierto tipo de UM, pero sin poder graduar el estado de fatiga muscular luego de la aplicación de EENM. Esto es debido a que el impulso eléctrico genera una contracción única y simultánea de todas las unidades motoras que se estén estimulando (solo tónicas, tónicas e intermedias, o todas juntas), dependiendo de la frecuencia. El tétano es sincrónico, no hay sumación espacial ni temporal como en la contracción voluntaria, agotando la totalidad de las UM (incluso las de reserva), aumentando el estado de fatiga al comienzo del ciclo de trabajo<sup>(13),(24)</sup>.

Podemos atribuir entonces el aumento de fatiga muscular a este sincronismo en el reclutamiento de las UM<sup>(24)</sup>.

Este concepto de “selectividad de reclutamiento dependiendo de la frecuencia aplicada” es muy reciente. Ciertos autores coinciden en que hay veces en que la frecuencia no determina selectividad de reclutamiento. Sostienen que existe un patrón de

---

<sup>(24)</sup> J.Plaja- Analgesia por medios físicos- Editorial McGRAW-HILL-INTERAMERICANA (2003)

reclutamiento inverso al que sucede en la contracción voluntaria (reclutamiento por principio de tamaño)<sup>(3),(13),(21),(24),(27)</sup>. Se basan en los siguientes fundamentos.

*1. Diámetro de las motoneuronas.*

La estimulación eléctrica invierte el patrón de reclutamiento muscular ya que las neuronas más gruesas con un axón de mayor diámetro, encargadas de inervar a las fibras rápidas, tiene un umbral de activación más bajo con la EENM, por lo tanto son más excitables.

*2. Distancia entre el electrodo y las motoneuronas.*

Este argumento se refuerza por el principio anatómico que dice que las unidades motoras cuyos axones son más gruesos se disponen en la superficie del músculo. El reclutamiento se realizaría entonces desde las unidades motoras más cercanas a la superficie de la piel (electrodo) hasta las unidades motoras más profundas.

*3. Efecto de la activación de los receptores cutáneos.*

La activación de los receptores cutáneos tiende a incrementar el reclutamiento de las fibras rápidas sobre las lentas, ya que el electrodo está situado sobre la superficie y transmite la corriente a través de la misma<sup>(28)</sup>.

De esta manera refutan el concepto de selectividad ya que aunque se aplique EENM con una frecuencia de 30Hz se estarían estimulando en primer lugar las UM Fásicas, (hasta su agotamiento) seguidas de las intermedias, hasta llegar a la tónicas. Perdiendo la selectividad del reclutamiento de estas últimas.

Chris M Gregory y C. Scout Bickel (2005)<sup>(29)</sup>, presentan una perspectiva basada en la evidencia en donde exponen una serie de estudios concluyendo que “el reclutamiento de las fibras musculares durante la EENM no sigue un patrón selectivo”. Kim y cols<sup>(30)</sup> (1995), concluyen que este patrón inverso de reclutamiento se demuestra en estudios en donde la estimulación es in Vitro, (estimulación directa de la placa motora) ya que indirectamente (como pasa en la estimulación transcutánea) la orientación de los nervios periféricos no siempre responde al principio anatómico que dice que las unidades motoras cuyos axones son más gruesos se disponen en la superficie del músculo, si esto ocurre lejos se estaría de reclutar las fibras rápidas.

La impedancia es la suma de elementos, resistencias y capacidades que se oponen al paso de la corriente, este factor es de absoluta importancia al analizar los parámetros de

EENM en humanos, parámetro que, en estos estudios, no se tuvieron en cuenta por realizarse in Vitro y en pequeños animales<sup>(31),(32)</sup>.

Feiereisen y cols<sup>(33)</sup> miden el reclutamiento de 302 unidades motoras del tibial anterior (TA) durante la contracción voluntaria y la contracción electro inducida a varias intensidades. Estos autores demuestran que en el 94% de los casos el “principio de tamaño” se mantuvo durante las contracciones voluntarias, mientras que durante las contracciones electro inducidas solo un 30% invirtió el patrón de reclutamiento (reclutó fibras rápidas). Si este patrón inverso existiese, los resultados hubiesen superado el 30%.

Resumiendo, los estudios citados provocan controversia científica con respecto a dos cuestiones puntuales:

- El patrón de reclutamiento motor que utiliza la EENM.
- La selectividad de reclutamiento en relación a la frecuencia y a la duración del pulso.

Con respecto al primer punto, luego de analizar los estudios citados anteriormente, creemos que no existe un patrón de reclutamiento inverso al voluntario; y en relación al segundo punto afirmar que el patrón de reclutamiento que provoca la EENM va a depender de la frecuencia o la duración del pulso, estimulando las UM seleccionadas, sincrónicamente, con la consecuente fatiga masiva de las mismas.

### **LA CORRIENTE ELÉCTRICA**

Debido a los requerimientos a máximo rendimiento en el mundo deporte y la estética corporal aparece la necesidad de manejar la corriente eléctrica bajo la aplicación de protocolos adecuados, para ese sujeto sano o enfermo.

Una corriente eléctrica puede definirse por dos factores:

- la intensidad expresada en amperios o la diferencia de potencial expresada en voltios, reflejan la fuerza de esa corriente o diferencia de potencial.
- la evolución en el tiempo de ese primer factor que condiciona las numerosas propiedades biológicas.

Así la intensidad permanece idéntica en estado *continuo*; o cambia en el tiempo como en el estado *alterno*.

Actualmente, la EENM hace mención a dos tipos de corrientes:

- la corriente de impulsos alternos simétricos o asimétricos.
- la corriente alterna senoidal modulada (de esta última ampliaremos conceptos y estudiaremos en profundidad).<sup>(3)</sup>

#### **Parámetros de la corrientes eléctrica**<sup>(13),(24),(27),(34)</sup>

Cada profesional debe aplicar los parámetros que considere oportunos siempre que domine el equipo estimulador, la técnica, el estado del paciente, una exploración adecuada y suficiente experiencia personal. Los parámetros a tener en cuenta son los que expondremos a continuación.

#### **Densidad de corriente**

Es el flujo de corriente que pasa por el electrodo, debe ser lo suficientemente alto para provocar la despolarización. Depende de la intensidad de emisión del aparato y del tamaño y separación de los electrodos. En este caso la polaridad de los electrodos no reviste importancia, pues estamos hablando de corriente alterna.

Una densidad excesiva puede causar lesiones en la piel. A mayor tamaño de los electrodos mayor será la distribución de la energía y menor densidad. Con una misma intensidad de corriente la densidad aumenta inversamente proporcional al tamaño de los electrodos. La cercanía muy próxima de los electrodos aumenta la densidad en los bordes adyacentes. Por otro lado con electrodos muy separados, si se quiere conseguir una densidad suficiente en profundidad, es necesario elevar mucho la intensidad y se produce una sobrecarga cutánea con peligro de intolerancia y lesiones en la piel.

### **Interfase electrodo piel**

Influye en la tolerancia y en las posibles lesiones locales del paciente. La corriente que se genera en el aparato pasa por cables y electrodos en forma de electrones. En el cuerpo, por el contrario, se hace en forma de iones, siendo necesario un cambio del mecanismo de transferencia de la corriente en la interfase entre electrodo y piel. El electrodo tiene que ser un conductor excelente y estar uniformemente en contacto con la piel. La piel tiene una gran impedancia en el estrato córneo y la corriente puede pasar más fácilmente a través de los poros, espacios intercelulares. Conviene preparar la piel lavándola con agua y jabón para eliminar restos de descamación, grasa y cosméticos que aumentan su resistencia. El lavado además humedece el estrato corneo.

El medio de contacto entre piel y electrodo tiene por objeto uniformizar el contacto entre el electrodo y la piel, facilitar la transferencia de cargas por electrones a iones, y disminuir la impedancia de la piel. Utilizamos una felpa o wata empapada en agua.

Se distinguen según la superficie de los electrodos dos métodos de estimulación: bipolar y monopolar. La primera se realiza con dos electrodos de la misma superficie, la densidad de la corriente es la misma en los dos electrodos. En cuanto a la segunda se utilizan dos electrodos de superficie diferente valiéndonos de la relación a mayor tamaño menor densidad.

El punto motor puede definirse como el punto cutáneo donde se produce la máxima contracción utilizando la menor carga o energía de estímulo eléctrico. Generalmente, pero no siempre, suele localizarse en la unión entre el tercio superior y medio del vientre muscular.

### **Frecuencia**

En el caso de la electroestimulación la frecuencia representa un número de impulsos que se envían a la fibra motora en cada segundo. En la práctica, con EENM se permite contraer de manera predominante, pero aún así no totalmente selectiva, un tipo de fibra muscular con determinadas características mecánicas y funcionales. Se necesita así modular el estímulo eléctrico inducido en función de las necesidades de cada tipo de fibra, de modo que se alcance de manera óptima la excitación de la fibra nerviosa que inerva justamente las fibras musculares que poseen las características que se quieren mejorar. El parámetro que utilizamos es el Hertz ( $1\text{Hz} = 1 \text{ ciclo/s}$ ). Podemos distinguir corrientes de baja mediana y alta frecuencia. Desde el punto de vista fisiológico tenemos:

Baja frecuencia.....de 0 a 500-800Hz.

Media frecuencia.....de 800 a 50000Hz.

Alta frecuencia.....más de 60000Hz.

Los fenómenos de excitabilidad aumentan en función de las frecuencias, la frecuencia máxima de despolarización depende del período refractario absoluto, para las fibras intermedias el período es de 1ms.

En consecuencia la frecuencia de despolarización máxima se sitúa alrededor de los 2500Hz, ( $1000\text{ms} / 0.4\text{ms} = 2500\text{Hz}$ ) permaneciendo estables hasta los 5000Hz, ( $1000\text{ms} / 0.2\text{ms} = 5000\text{Hz}$ .) decreciendo luego hasta la inexcitable neuromuscular que caracteriza a la alta frecuencia. La estimulación continua, a nivel muscular, con una corriente de frecuencia media puede dar lugar a una situación en la que la fibra nerviosa deje de reaccionar a la corriente, o que la placa motora se fatigue y no pueda producirse la transmisión del estímulo, por lo que resulta necesario interrumpir esa corriente de base.

### **Intensidad**

La intensidad es el número de electrones que pasan por un punto en un segundo. Es importante saber que, conforme aumentemos la intensidad de corriente sumaremos más axones a la excitación, desde los más superficiales hasta los de pequeño diámetro. A

partir de 80mA casi todos los axones han sido despolarizados, incluso en musculaturas grandes. La intensidad se mide en miliamperios (mA) en los aparatos de corriente constante (CC), que son mayoritarios, y en los de voltaje constante, en voltios (VC). No suelen pasar de 90mA o 300V.

La intensidad real de la corriente que llega al nervio, y que ha de ser suficiente para excitarlo, es mucho menor que la que indica el aparato. En el cuerpo la corriente tiene que atravesar varias capas de tejido heterogéneo con resistencias diferentes, estableciéndose una complicada red de impedancias y resistencias en serie imposibles de calcular. Una vez alcanzado el nervio, compuesto por haces de fibras de distinto umbral, la estimulación de una fibra concreta depende de dos factores principales:

1) El umbral de excitación, que depende de la fibra y de que esté o no rodeada de mielina. Las que primero responden son las eferentes A-alfa, luego las aferentes A-beta, le siguen las A-delta y finalmente las C (amielínicas).

2) La situación topográfica dentro del nervio. A intensidad creciente responden primero los fascículos y fibras más cercanas al electrodo.

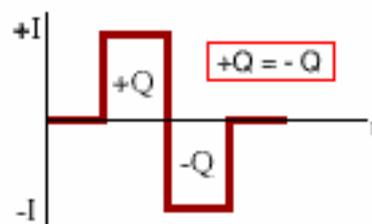
Decimos entonces que a bajas intensidades o duraciones de estímulo solo estimulamos las fibras más sensibles Alfa-beta, más cercanas a la superficie (sensación de hormigueo y vibración). Conforme aumenta la intensidad, esta sensación se hace más intensa, aumenta la sensación parestésica hasta que aparecen las contracciones musculares. Si la intensidad aumenta más todavía activamos las fibras Alfa-delta y C (que transmiten impulsos nociceptivos junto a contracciones motoras importantes si los axones motores se encuentran localizados cerca de los electrodos.

La intensidad aplicada depende fundamentalmente del control visual del kinesiólogo sobre el músculo tratado y corresponde a la máxima tolerada por el paciente.

### **Forma de onda y fenómeno de acomodación**

Como tejidos excitables, tanto el nervio como el músculo tienen la propiedad de acomodación al estímulo eléctrico. La acomodación puede definirse como el aumento automático en el umbral de excitación, por un aumento gradual del estímulo eléctrico aplicado, significando que la fibra muscular reacciona al paso de corriente oponiéndose al efecto excitante. El fenómeno de acomodación ha de tenerse en cuenta cuando se estimula el músculo inervado (axones motores), ya que el estímulo eléctrico debe

aplicarse rápidamente para evitar la acomodación. El tiempo de ascenso de la señal eléctrica debe ser menor a 60us( microsegundos). Cuanto mayor sea intensidad menos confortable es la estimulación y cuanto menor sea la intensidad menos fibras musculares podremos reclutar. Por tanto, la forma de onda ideal, será aquella que sea capaz de suministrar la mayor cantidad de energía con la menor intensidad posible. Obviamente, estamos hablando de una forma de onda rectangular. Estas permiten un tiempo de silencio eléctrico reposos entre modulación y modulación, muy adecuada para respetar la fisiología del período refractario en la membrana de la célula muscular y nerviosa. Los pulsos de forma triangular y monofásicos generan menos respuesta que los cuadrangulares monofásicos, pero los cuadrangulares bifásicos son mejor tolerados y de mejor respuesta que los anteriores.



**Figura 6** <sup>(34)</sup>- La resultante galvánica de los pulsos positivos y negativos de una corriente simétrica es nula.

### **Impedancia**

La impedancia es la suma de elementos, resistencias y capacidades que se oponen al paso de la corriente. Así, la piel es la parte corporal que más se opone al paso de la corriente eléctrica, los músculos son mejores conductores que el tejido graso. Los músculos, son cuatro veces mejores conductores cuando el paso de la corriente se hace en el sentido longitudinal de sus fibras, que cuando se hace en el sentido transversal.

La impedancia es relativamente considerable a baja frecuencia, disminuye con el aumento de la frecuencia según la fórmula:

<sup>(34)</sup>[www.tens.es/formacion/Pags.Est.musc/Cont.Pag3ParamEM.html](http://www.tens.es/formacion/Pags.Est.musc/Cont.Pag3ParamEM.html)

Impedancia Z (ohmios)=

$$Z = \frac{1}{C(\text{faradios}) \times 2 \times \pi \times f(\text{Hz})}$$

Para una corriente alterna de 50 HZ se tendrá una resistencia de 3200 ohmios y para una frecuencia de 2500Hz será de solo 63 ohmios.

Esta baja muy importante de la impedancia permite así una penetración eléctrica transcutánea mucho más grande que con la baja frecuencia y evita concentraciones excesivas de energía en la capa cutánea.

Resumiendo, queda expuesto que el umbral de sensibilidad eléctrica se eleva con la frecuencia y se puede así definir una zona de frecuencia caracterizada por el máximo de excitabilidad muscular, así como el descenso de la impedancia cutánea.

### **Corriente alterna senoidal simétrica<sup>(3)</sup>**

La corriente alterna o bifásica es de todos los posibles excitantes del sistema neuromuscular la que más se parece al estímulo fisiológico.

Es una corriente periódica, donde el valor medio es nulo, porque invierte constantemente la polaridad bajo la forma de una onda senoidal en el tiempo y en donde la primera fase negativa es simétrica a la otra positiva neutralizando el efecto químico. Si las dos fases tienen la misma área o carga, el pulso se llama compensado, ya que es neutro en el efecto químico. Electro fisiológicamente parece que queda un mínimo de efecto polar, que se puede neutralizar totalmente alternando los pulsos bifásicos de comienzo negativo con los de comienzo positivo con una compensación total<sup>(24)</sup>.

El período de una corriente periódica es la duración constante que separa dos instantes consecutivos donde la corriente se reproduce idénticamente a sí misma. El período es una duración se expresa en segundos, su símbolo es T. La frecuencia (f) de esta corriente periódica es el número de períodos por segundo (Hz).

Sabiendo la frecuencia de la corriente podremos obtener el período de interrupción. Si por ejemplo tenemos 50Hz de modulación de la corriente de base y  $f = 1\text{Hz} / T$  (s).

$$f = \frac{1}{T}$$

$$T = \frac{1}{50\text{Hz}} = \frac{1}{50\frac{1}{s}} = \frac{1}{50} s = 0,02s$$

$$T = 20ms$$

Entonces son 50 las veces en que mediante curvas envolventes de modulación (baja frecuencia) se interrumpe la media frecuencia con un período de 20ms.

Para que esta corriente alterna senoidal, sea utilizable en estimulación es necesario poder hacerla variar según al menos dos parámetros;

- Amplitud o modulación de amplitud.
- Frecuencia o modulación de frecuencia

### **Amplitud o modulación de amplitud**

Al variar la tensión de 0 a 50, 200 voltios o más se forma una corriente alterna senoidal modulada en amplitud. Esta modulación de amplitud puede ser única (instalación de la corriente), ritmada de forma regular o irregular, etc.

Cuando la modulación de amplitud se efectúa según una forma geométrica se habla de una curva de apariencia rectangular, progresiva o exponencial.

Pero estas curvas envolventes son virtuales en el sentido de que en el osciloscopio se las puede hacer aparecer y desaparecer actuando sobre la base temporal. Por consiguiente, en todos los casos, se trata de una corriente alterna senoidal de frecuencia que se repite idénticamente a si misma, solo su amplitud varía.

### **Modulación de frecuencia**

Con ciertos parámetros, se puede elegir una frecuencia de base que se sitúe en los límites de la frecuencia media siendo según los autores de 2500 a 10.000Hz. A partir de esta frecuencia de base que se repetirá de forma permanente determinaremos una modulación (baja frecuencia) la cual envolverá con curvas a la corriente portadora tantas veces por segundo como lo indique la misma (50Hz= 50 veces/s.)<sup>(3)</sup>

### **La media frecuencia**

Al utilizar este tipo de corriente se consigue transmitir muy bien el potencial excitador al tejido diana alcanzando profundidades importantes, limitando al máximo los posibles problemas vinculados a la migración iónica o al conocido efecto polar o galvánico (quemaduras, daño del tejido). Se observa que con la media frecuencia, disminuye la impedancia de los tejidos, así como los efectos sensitivos y motores, luego, el paso de la corriente se convierte en un estímulo de molestia muy débil, perfectamente soportable, aunque se aumente de forma importante la intensidad. Lógicamente si el individuo se siente poco agredido coordinando el trabajo activo con el estímulo eléctrico, los resultados son satisfactorios y nos permiten alcanzar los objetivos propuestos (normalmente de potenciación). Además la media frecuencia resulta inocua para el corazón, constituyendo una herramienta ideal para la estimulación del músculo sano<sup>(24),(27)</sup>.

### **Corriente Rusa**

La Corriente Rusa está compuesta por ondas de mediana frecuencia, alternas senoidales de 2500Hz (ciclos /s o pulsos/s) pero no en forma continua, sino modulada en trenes o ráfagas de baja frecuencia (Kots propone entre 30 y 70 Hz)<sup>(3),(4)</sup>. Dentro de la media frecuencia el uso de 2500Hz permite una estimulación confortable y es selectiva ya que a esa frecuencia portadora la duración del pulso es de 400us, siendo la fase positiva o la negativa de 200us (estos 200us se relacionan con una estimulación agradable)<sup>(35)</sup>. Cualquier combinación de frecuencias que comprenda el segmento tetanizante, es útil para la estimulación muscular, depende entonces del tipo de fibra a estimular la frecuencia elegida. Esta modulación de la corriente de base se realiza en forma cuadrangular dando lugar a la baja frecuencia, utilizable para la excitomotricidad.

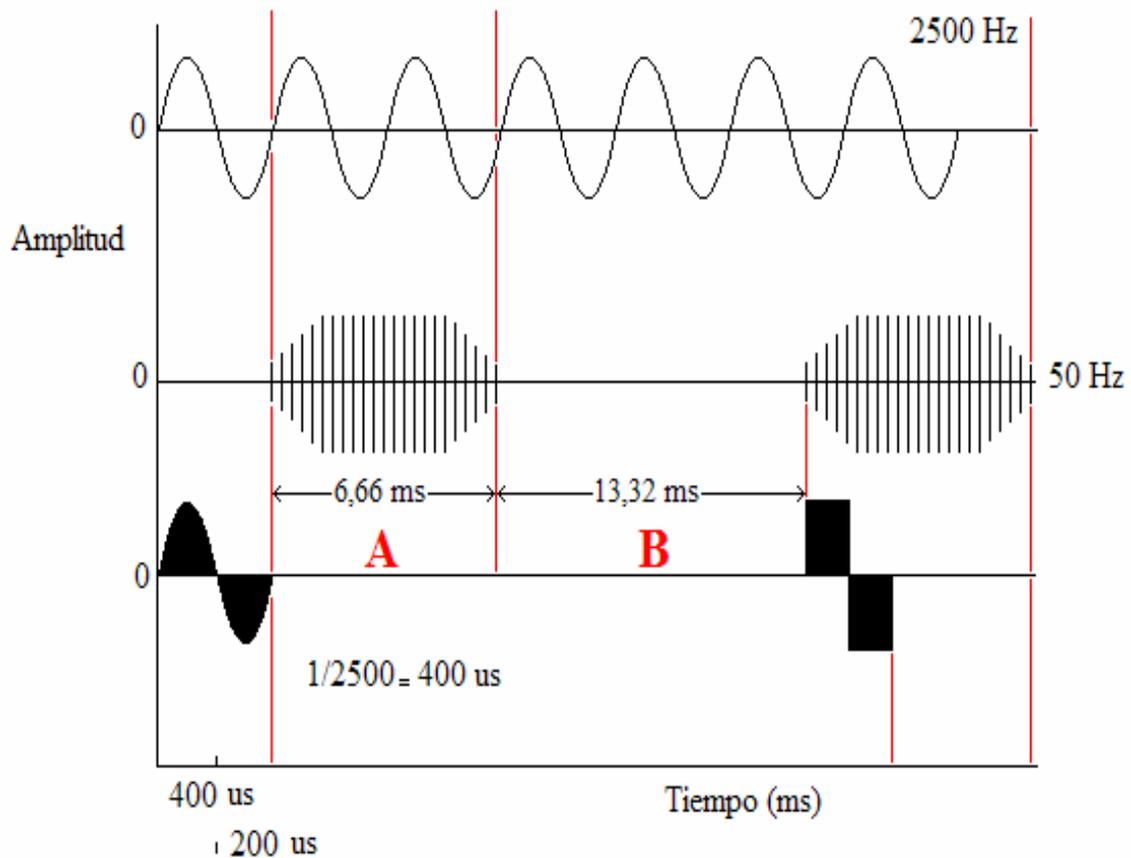
Dentro de la misma frecuencia se regular la razón existente entre el pulso de la modulación “A” y su reposo “B”.

Existe una tendencia a asociar reposo con descanso muscular; el reposo eléctrico es el tiempo que tarda en repolarizarse la membrana celular luego de haber sido despolarizada por un pulso.

El ingenio físico de esta corriente es justamente introducir un silencio eléctrico para evitar que la estimulación sea ineficaz. Aplicando al músculo sano estos impulsos en forma de trenes o ráfagas se consigue una contracción mantenida de la fibra muscular y

no contracciones aisladas más o menos separadas que no hacen más que trabajar sobre la propiocepción<sup>(27)</sup>.

El equipo de Corrientes Rusas “TEXEL”, que utilizamos para éste estudio brinda tres posibilidades de frecuencia a aplicar, 30, 50 y 70Hz. La relación B/A o sea el tiempo de reposo en relación al tiempo del pulso de modulación puede ser 1/1, 2/1, 4/1.



**Figura 6** <sup>(35)</sup> extraída y modificada -Corriente Rusa. Onda portadora de media frecuencia de 2500Hz modulada en trenes de baja frecuencia de 50Hz con una relación entre el pulso de modulación “A” y el reposo “B” de 2/1, o sea B/A = cada 6,66ms de pulso existe un reposo de 13,32 ms.

<sup>(35)</sup> Roger M. Nelson, Karen W. Hayes, Dean P. Currier- “Clinical Electrotherapy” tercera edición, editorial APPLETON & LANGE Stamford, Connecticut (1999).

En el primer caso (1/1), el reposo dura lo mismo que la ráfaga, con una frecuencia de 70Hz, se utiliza para las fibras Fásicas.

En el segundo caso (2/1) el reposo dura el doble que la ráfaga, con una frecuencia de 50Hz, se utiliza para las fibras Tónico-Fásicas.

En el tercer caso (4/1) el reposo dura 4 veces mas que la ráfaga, con una frecuencia de 30Hz, se utiliza para las fibras Tónicas.

Tomando el segundo caso donde con una frecuencia de 50Hz, la relación de B/A es = 2/1, se establece que para un período de 20ms, cada 6.66ms de pulso existen 13,32ms de reposo. El reposo entre los trenes tiene que ser más largo, por lo menos del doble que el impulso de estimulación<sup>(24)</sup>

La aplicación de este tipo de corriente debe ser interrumpida para permitir realizar series de tantas repeticiones como se necesite, en relación al objetivo final.

En sus comienzos Kots utiliza los parámetros siguientes: 10s de paso de corriente seguidos de 50s de reposo<sup>(4)</sup>. El tiempo total de estimulación y reposo suele apoyarse sobre la base fisiológica que dice que si un músculo se mantiene intensamente contraído durante 10s, consume sus recursos almacenados, los cuales no han podido ser repuestos durante su estado de contracción; sobrepasando esos 10s, la isquemia de los vasos circulantes dentro del músculo provocan un estado de anoxia, entrando en un trabajo de predominio anaeróbico, el cual necesita de por lo menos 50s para recuperarse<sup>(27)</sup>.

Al revisar los estudios de Kots notamos que se utilizaron estos parámetros de EENM ya el objetivo era conseguir la potenciación y explosividad de gestos motores específicos, atributo que se consigue con un trabajo voluntario al 90-100% de la fuerza máxima o 1 RM.

Matheson, Gordon O y cols<sup>(36)</sup>, (1997) realizan un estudio metabólico en donde compararan dos protocolos de EENM diferentes sobre los músculos de la pantorrilla. El primero consiste en realizar una serie de 12 repeticiones de 10s cada una con 10 segundos de reposo entre repetición y repetición. El segundo se baso en los mismos parámetros anteriores pero reposando 50s entre las repeticiones. Estos autores concluyen que el ciclo de trabajo más corto produjo mayor fatiga, posiblemente por el aumento de la acidosis intracelular, y la disponibilidad reducida de fosfato de alta energía (ATP).

La hipertrofia muscular se consigue con trabajos basados en 10 series de 10 repeticiones promedio, a un 70 % de la fuerza máxima, hasta el fallo muscular. El objetivo es agotar paulatinamente (en 10 repeticiones promedio) las reservas macro energéticas sobre un estado de predominio anaeróbico (glucólisis).

Recomendando así el primer protocolo para el músculo sano, con objetivos de hipertrofia muscular. El segundo, a los deportistas que se dediquen al entrenamiento de fuerza máxima, o a la realización de gestos explosivos, por ejemplo los sprinters, levantadores olímpicos. También a músculos con cierta atrofia muscular, teniendo en cuenta los recursos energéticos para no provocar excesiva fatiga muscular.

Resumiendo, existe una relación directa entre el tiempo de descanso entre las repeticiones de una serie y el estado de fatiga. A menor período de descanso entre repeticiones, el estado de fatiga se incrementa, ya que la acidosis intracelular perdura, el estado de fatiga muscular se prolonga y retrasa el tiempo de recuperación.

## CAPÍTULO 5

---

### **LA HIPERTROFIA MUSCULAR** <sup>(3),(22),(37),(38)</sup>

El aumento del diámetro del músculo como resultado del entrenamiento muscular, es denominado hipertrofia funcional (del latín *hipertrofia* , alimentación reforzada). Las fibras musculares que son células diferenciadas altamente especializadas, no son capaces por lo visto, al igual que las células nerviosas, de dividirse formando nuevas células. De todas formas, la división de las células musculares tiene lugar solamente en casos peculiares y en una cantidad muy pequeña. La hipertrofia funcional del músculo se produce en parte por la degradación longitudinal, y principalmente, engrosamiento (aumento de volumen) de las fibras musculares.

#### **Tipos de Hipertrofia**

Es posible distinguir dos tipos fundamentales de hipertrofia funcional de las fibras musculares : *el sarcoplasmático y el miofibriliar*.

El primer tipo se refiere al engrosamiento de las fibras musculares, preferentemente por aumento del volumen del sarcoplasma, es decir de la parte no contráctil del músculo. Conjuntamente aumentan las reservas metabólicas como son el glucógeno, las sustancias no nitrogenadas de creatinfosfato, la mioglobina, los vasos capilares que mediante el entrenamiento también provocan cierto engrosamiento muscular.

El contenido de agua en los músculos de los individuos entrenados es algo mayor que en los músculos de aquellos que no lo están. Sin embargo, semejantes músculos hipertrofiados no obtienen ventajas funcionales de ningún tipo.

La hipertrofia sarcoplasmática influye poco en el incremento de la fuerza de los músculos, influyendo considerablemente en la resistencia muscular, entendiéndose ésta última como la capacidad de soportar un esfuerzo en el tiempo.

La hipertrofia miofibriliar en cambio, se relaciona con el aumento del volumen de las miofibrillas, del aparato propiamente contráctil de las fibras musculares, que son los pequeños filamentos proteicos, de Actina y Miosina. El tamaño y número de estos filamentos aumentan como resultado del entrenamiento, haciendo que aumente el

diámetro transversal de cada una de las miofibrillas que componen el músculo, generando así un considerable incremento en la densidad miofibrilar, pero no así del tamaño del vientre muscular. Este tipo de hipertrofia determina la fuerza máxima del músculo. También aumenta sustancialmente su fuerza absoluta la cual no varía o quizás solo un poco con el primer tipo de hipertrofia funcional.

El entrenamiento es entonces “la llave” determinante del tipo de hipertrofia a desarrollar. Mientras que los ejercicios dinámicos prolongados consiguen la hipertrofia sarcoplasmática, los trabajos isométricos con aplicación de grandes tensiones musculares (más de dos tercios de la fuerza máxima voluntaria de los grupos musculares entrenados), permiten el desarrollo de la hipertrofia funcional correspondiente a la hipertrofia miofibrilar.

La hipertrofia funcional se basa en la síntesis intensa de las proteínas musculares. La actividad muscular influye en el aparato genético de las células musculares que dirige la regulación de la síntesis proteica.

Así la concentración de los ácidos ribonucleicos y desoxirribonucleico es mayor en los músculos hipertrofiados que en el músculo normal.

Las hormonas andrógenas desempeñan un papel importante en la regulación del volumen de la masa muscular y particularmente en el desarrollo de hipertrofia funcional de los músculos.

En el hombre, estas hormonas son elaboradas por las glándulas sexuales (por los testículos) y en la corteza de las glándulas suprarrenales, mientras que en la mujer solamente en éstas últimas, por lo que la cantidad de hormonas y la fuerza muscular luego de un entrenamiento específico es menor en la mujer. Correspondientemente, la cantidad de andrógenos es mayor en el organismo del hombre determinando mayor masa muscular y mejor receptividad a los trabajos de fuerza.

El método de ejercicios repetidos por grupo muscular está encaminado a intensificar la síntesis de las proteínas contráctiles y el aumento de la masa muscular. Los ejercicios se ejecutan con número de repeticiones entre 6 y 12 hasta el rechazo (hasta no poder más). La resistencia a superar no debe nunca exceder el 70 % de la fuerza máxima o 1 RM. Con estas magnitudes de fuerza, el flujo de sangre a través del músculo disminuye bruscamente, lo que se acompaña de la aparición de la hipoxia local. En estas condiciones (déficit de la producción energética aeróbica) se agotan considerablemente

las reservas anaerobias alácticas; en los músculos se acumula una gran cantidad de creatina libre y se intensifica notablemente la formación de ácido láctico como resultado de la glucólisis. Debido al déficit de los compuestos macro energéticos, al cumplir un gran volumen de trabajo, se destruyen las proteínas musculares y se acumulan sus productos de su descomposición (péptidos de bajo peso molecular, etc.). Los productos de desecho de las proteínas, al igual que la creatina libre, sirven de inductores de la síntesis proteica en el periodo de descanso, durante el cual se restablece el abastecimiento normal de oxígeno y sustancias nutritivas a los tejidos. La acumulación del ácido láctico durante el trabajo límite y la variación de la presión osmótica intramuscular provocada por ésta, contribuyen a retener en los músculos el líquido intersticial, rico en sustancias nutritivas.

Si tales entrenamientos se repiten sistemáticamente, aumenta considerablemente el contenido de proteínas contráctiles y crece el volumen total de la masa muscular.

### **Bases fisiológicas**

La hipertrofia se explica por cuatro causas principales:

- Un aumento de las miofibrillas (HIPERTROFIA).
- Un desarrollo de los recubrimientos musculares (tejido conjuntivo).
- Un aumento de la vascularización.
- Un aumento del número de fibras (hiperplasia). Por regla general, se acepta que el número de fibras viene determinado genéticamente y que éste número permanece invariable a lo largo de la vida. Hasta el momento no se puede sumar a la hiperplasia como causa del incremento del tamaño muscular.

### **Como se genera la Hipertrofia muscular.**

El proceso de formación de nueva masa muscular (hipertrofia) se produce con la sumatoria de varios factores. Los factores que intervienen y la interdependencia entre ellos son variados y complejos. Se nombran cinco factores fundamentales para a modo de sintetizar el proceso.

### **Ejercicios**

Constituye el estímulo inicial que desencadena el proceso siempre y cuando se realice con la intensidad adecuada, correctamente programado y periodizado. El ejercicio desencadena la secreción hormonal siendo ésta el segundo factor de importancia. Las fibras musculares precisan ser estimuladas mediante el sistema nervioso para que se produzca el crecimiento, de la misma forma incidimos indirectamente sobre el músculo con la corriente eléctrica.

### **Secreción Hormonal**

Durante el ejercicio físico se segregan hormonas anabólicas y catabólicas, según cuales predominen, y desencadenado el estímulo celular para sintetizar nuevas proteínas contráctiles. La función de estas hormonas es dejar un mensaje en el núcleo de la célula muscular y así sintetizar proteínas contráctiles. A través de este mensaje la célula hace su membrana celular más permeable a los aminoácidos y proteínas que necesite para formar las nuevas proteínas musculares. Los ácidos ribonucleicos y desoxirribonucleico son los encargados dentro y fuera del núcleo de transcribir y informar la genética de estas proteínas. Estas síntesis y captación de nuevas proteínas por la célula se dan si en la sangre circulan aminoácidos provenientes de la alimentación diaria. Estos aminoácidos son obtenidos por la digestión de las proteínas de modo tal que si en la alimentación faltan proteínas no podrá llevarse a cabo el proceso.

### **La alimentación**

Es otro factor de importancia ya que se requiere de una gran cantidad de calorías extras, encargadas de proveer la energía necesaria para que éstos aminoácidos dentro de la célula conformen nuevas proteínas.

### **La suplementación**

Hoy en día, para los atletas, componente de vital importancia superar marcas inalcanzables. En los requerimientos diarios de los deportistas la dieta no alcanza a cubrir el desgaste que produce el entrenamiento de alta intensidad.

### **El Descanso**

El último factor de importancia es precisamente el descanso; las horas de sueño donde

se produce la mayor cantidad de reparaciones celulares, si las horas de sueños no son adecuadas no se segregan las hormonas necesarias (hormona de crecimiento) que en alguna medida sigue estimulando los proceso de reparación celular.

El descanso entre sesiones, debe ser apropiado para que se reparen las células en forma casi completa y o súper compensada.

### **MEDICIONES ANTROPOMÉTRICAS** <sup>(39),(40)</sup>

#### **Técnicas antropométricas**

La antropometría depende, como cualquier otro ámbito de la ciencia, de la adhesión a técnicas especiales de medición que determinan entidades normativas nacionales e internacionales. En Argentina nos guiamos por normas internacionales elaboradas por la Sociedad Internacional de Avances en Cineantropometría (I.S.A.K.). Las razones principales para utilizar los lineamientos del I.S.A.K. se deben a que este grupo es internacional y ha trabajado durante muchos años para formular recomendaciones para la evaluación antropométrica de deportistas específicamente, pero con un espectro más amplio para aplicaciones sobre la población en general.

Existen diversas mediciones generales que todo entrenador normalmente realiza en sus deportistas, otras que sirven para determinar el estado de salud, como el índice cintura cadera, y algunas otras que servirán para efectuar estudios más complejos como el Somatotipo, el Fraccionamiento de la masa corporal en cinco componentes, la Proporcionalidad corporal basada en el modelo Phantom, la Predicción de la densidad corporal por fórmulas, transformación de los datos en perfiles según sexo y edad, la Obesidad total y su clasificación, la sumatoria de pliegues o los perímetros corregidos por los pliegues cutáneos.

#### **El sujeto**

Los sujetos evaluados deben estar informados acerca de las mediciones que se les efectuarán y podrán llenar un formulario de consentimiento, si ello fuera necesario y aconsejable. Durante los pasos de palpación, marcación y medición el sujeto permanecerá de pie y relajado, con los brazos colgando a los lados del cuerpo y los pies con una leve separación. En algunas mediciones se le pide al sujeto que ubica ambos pies juntos. Para comodidad el evaluador debería poder moverse con facilidad alrededor

del sujeto, para ello el espacio debe ser amplio. Además debe pedírsele al evaluado que se presente con la menor cantidad de ropa posible. No debemos olvidar ante esto que la temperatura del local de medición debe ser agradable para el sujeto a evaluar.

### **La recolección de los datos**

Si fuera posible lo mejor es tener un asistente que ayude con las anotaciones derivadas de las mediciones que efectúe el antropometrista. Debe tenerse especial cuidado en no cometer errores de anotación que a veces resultan más frecuentes de lo esperado, y puede llevarnos a cálculos erróneos. Los datos se toman tres veces para anotar el promedio y reducir el nivel de error en la medición.

### **La cinta antropométrica**

Para la medición de los perímetros corporales se recomienda una cinta flexible, calibrada en centímetros y milímetros. Algunas son metálicas, como en el caso de las cintas Lufkin. Siendo este el caso se debe tener cuidado que el ancho de la cinta no supere los siete milímetros para que la misma pueda dibujar el contorno con exactitud. También se consiguen buenas cintas de material acrílico que, además de garantizar su flexibilidad, tienen la particularidad de no extenderse con el uso como pasa habitualmente con las cintas plásticas. Cualquiera sea el material, la cinta antropométrica debe tener un espacio en blanco en el inicio de aproximadamente tres centímetros antes del cero, para facilitar la yuxtaposición de la misma. Otra característica importante es el mecanismo retráctil de la caja. Este debe permitir que la cinta se guarde en la caja solo al accionar el mecanismo, porque si esto no es posible el mecanismo retráctil funciona desde el mismo momento que la cinta se extrae de la caja, y ello provoca una presión extra sobre el contorno a medir, pudiendo provocar errores en la medición. (La Imagen 1 consta en el anexo.)

### **Técnica para la toma del Perímetro de muslo medial**

Este se mide justo sobre la marca establecida a media distancia entre el pliegue inguinal y el borde anterior de la rótula. La marca que se utiliza para el pliegue del muslo es la misma que sirve para la medición de este perímetro. (La imagen 2 consta en el anexo.)

### Área Total del Muslo

Utilizando los valores obtenidos del Perímetro del muslo medial y aplicándolos a la siguiente fórmula:

$$ATM = \text{Área total del muslo. (cm}^2\text{)}$$
$$\left( \frac{\text{Pi}}{4} \times D^2 \right), \text{ donde } D = \text{circunferencia del muslo} / \text{Pi}.$$

se obtiene el Área Total del Muslo al nivel del muslo medial.

Los resultados que muestra esta fórmula son mejores con respecto al análisis del parámetro “progreso”, al compararlos con los obtenidos únicamente tras la toma del perímetro del muslo medial.

## ESTUDIO EXPERIMENTAL

---

### Objetivos

#### General:

- Comprobar comparativamente el aumento de la masa muscular (hipertrofia muscular) en un grupo de culturistas a los que se le aplica un protocolo de EENM con Corrientes Rusas, complementario al entrenamiento de sobrecarga tradicional.

#### Específicos:

- Evaluar la eficacia del protocolo de EENM con Corrientes Rusas trabajando con parámetros similares al entrenamiento de sobrecarga tradicional.
- Aportar elementos que contribuyan a fijar pautas de tratamiento fisioterapéutico en personas sanas y deportistas.
- Sentar bases para posteriores investigaciones de Kinesiólogos interesados en el entrenamiento deportivo.

### Hipótesis

La aplicación de un protocolo de estimulación eléctrica con Corrientes Rusas aumenta la masa muscular (hipertrofia muscular) en culturistas, sirviendo como método complementario al entrenamiento tradicional de sobrecarga.

### Tipo de estudio

El presente trabajo comprendió las siguientes características metodológicas:

- De intervención o experimental (estudio analítico, epidemiológico, prospectivo)
- De carácter cuantitativo.

- Longitudinal.

### **Área de estudio**

El estudio se realizó en la ciudad de Rosario, en el Gimnasio “LIBERTY” ubicado en la calle Montevideo 1460 donde entrenan los culturista estudiados a fin de no alterar la rutina de quienes actúan como portadores de las unidades experimentales (muslo de menor perímetro que resultó ser el izquierdo casualmente en los 6 sujetos).

### **Grupo de Estudio**

La población en estudio está formada por 6 sujetos (  $n = 6$  ) varones, de entre 20 y 31 años promedio, lo cual nos permitió controlar las variables atribuibles a la edad, por cuanto se segmentó la población dentro del rango etario de adultos-jóvenes.

Todos los sujetos investigados son culturistas con 2 años y 6 meses de entrenamiento previo, concurriendo al gimnasio con la misma frecuencia (dos veces por semana) compartiendo un objetivo de entrenamiento específico *la hipertrofia muscular*. Reciben una dieta rica en proteínas, compensada con hidratos de carbono y baja en grasas, neuromuscularmente sanos, sin ingesta de esteroides anabólicos.

Los sujetos no manifestaron la existencia de patología neuromuscular en el momento del inicio del protocolo. Nos estamos refiriendo a una población que entrena sistemáticamente, conoce su cuerpo, sus limitaciones y busca progresos.

Los sujetos investigados se ofrecieron de forma voluntaria a la realización del estudio, con muy buena predisposición, a pesar de no tener experiencia previa al uso de corriente eléctrica.

Se firmó de común acuerdo entre los investigadores y los culturistas un acta de deberes y obligaciones de los mismos.

### **Variables**

Las variables estudiadas se clasificaron de la siguiente manera:

**Variable independiente:** La EENM.

**Variable dependiente:** El grado de Hipertrofia muscular.

**Variables intervinientes:** edad, sexo, plan alimentario, salud, alimentación, consumo de adicionales farmacológicos, frecuencia de entrenamiento tradicional.

### **Mediciones antropométricas realizadas antes y después del protocolo**

- Perímetro del muslo medial.

### **Instrumentos para aplicación de tratamiento en unidades experimentales**

#### **Electroestimulador neuromuscular**

El aparato utilizado en la presente investigación corresponde a un equipo generador de ondas rusas, de la empresa “TEXTEL”, controlado por microprocesador y memoria de última sesión, con 4 canales de salida, visor luminoso (con back Light), portador de una onda senoidal pura de 2500Hz modulada según la elección del kinesiólogo en trenes de 30, 50 y 70Hz, con rampa de ascenso y descenso. Alimentación del equipo 220 V.C.A. 50Hz, consume promedio 25 vatios.

Las dimensiones: Ancho: 45cm-Alto:18cm-Profundidad 28cm- Peso: 5,400kg. (La imagen 3 consta en el anexo)

#### **Máquinas en sala de musculación**

Cuadriceras marca FOX, con riñón, Prensa 45°, Peso libre para sentadilla.

### **Métodos de Entrenamiento que actúan como tratamientos para el grupo testigo y experimental**

#### **Método de entrenamiento tradicional de los culturistas en sala de musculación**

Antes de comenzar el entrenamiento los culturistas realizaron una entrada en calor de 5 minutos en la bicicleta, continuando con el número de sentadillas necesarias preparando a la musculatura para el trabajo de hipertrofia posterior.

Se empezó trabajando con 4 series de 10 repeticiones de sentadillas que es un ejercicio básico, global (que abarca más de 1/7 de la masa muscular corporal total) y poli articular (porque intervienen varias articulaciones en el movimiento). Esto produce el despegue hormonal siempre y cuando se trabaje a una intensidad suficiente para lograr el fallo muscular. (La imagen 4 consta en el anexo.)

El siguiente ejercicio es la prensa a 45°. Se realizan 3 series de 10 repeticiones siguiendo los parámetros de intensidad correspondientes al entrenamiento de hipertrofia muscular (La imagen 5 consta en el anexo).

Por último, se utiliza la cuadrícera en donde se realizan 3 series de extensiones de cuádriceps. Mientras que al muslo de menor perímetro se le aplica el protocolo de EENM, el sujeto entrena (con los mismos parámetros de entrenamiento utilizados en los ejercicios anteriores) el muslo contra lateral (Las imágenes 6<sup>(1)</sup>,<sup>(2)</sup> constan en el anexo).

A modo de relajación y recuperación del trabajo realizado los culturistas realizan 15 minutos de bicicleta u otro ejercicio aeróbico, como trabajo regenerativo, a fin de lavar ácido láctico y otras sustancias de desecho.

De esta manera se realiza el *método diez por diez* (10 series de 10 repeticiones) que propone Zartsiorsky (1966), con una carga aproximada del 70% de la fuerza máxima o 1RM<sup>(1)</sup>. El metabolismo interesado por este tipo de entrenamiento es el *anaeróbico láctico*; esta condición favorece los procesos hormonales y el recambio proteico.

Según Cometti<sup>(3)</sup> la recuperación debe ser relativamente corta para favorecer la fatiga muscular, pero suficientemente duradera para permitir un número importante de series. Trasladado a minutos, este tiempo es en el ejercicio básico (sentadilla) de 3 minutos, mientras que para los ejercicios complementarios (prensa 45° y cuadrícera) nos basamos en Zartsiorsky, el cual considera un reposo de entre 1 minuto a 1 minuto y 30 segundos para producir la destrucción masiva y la reconstrucción incompleta de ATP y proteínas<sup>(1)</sup>.

Como el volumen total depende del método de entrenamiento con que se combine (lineal, piramidal, repeticiones forzadas) la manera de trabajo que utilizan estos culturistas es al *fallo muscular en cada serie y por el número de series*.

Cuando hablamos de “por el número de series” expresamos que mientras se pueda continuar realizando el ejercicio, sin perder intensidad ni técnica de ejecución se debe probar otra serie hasta lograr el agotamiento del músculo en este caso el cuádriceps

femoral. Resumiendo, si con las diez series propuestas el músculo no llega al agotamiento el culturista deberá realizar la cantidad de series que sean necesarias para dicho fin.

La velocidad de ejecución es importante para el objetivo propuesto, el método seleccionado es el “ 2 – 1 – 2 ”. El primer “dos” hace referencia al tiempo en segundos en realizar la fase concéntrica o positiva. El “uno” el tiempo en mantener en contracción estática o isométrica y el último “dos” en la fase negativa o excéntrica.

Este sistema presenta un equilibrio entre la fases concéntricas y excéntricas así podemos eliminar la forma balística de trabajo y los rebotes, resultando ser un método muy eficaz para el entrenamiento muscular del culturista.

### **Métodos de electroestimulación en el deporte**

Según A. Basas García<sup>(41)</sup>, existen tres métodos de aplicación de EENM en el deporte. La electroestimulación en acortamiento, la electroestimulación dinámica y la electroestimulación en estiramiento. De los tres métodos nombrados consideramos que el dinámico es el indicado ya que el gesto de extender la rodilla es común y aplicable tanto al método tradicional como al de EENM.

### **Electroestimulación dinámica**

Cuando hablamos de electroestimulación dinámica pretendemos imitar las condiciones fisiológicas de la contracción voluntaria, ubicando a la electroestimulación en un contexto real de musculación. En este caso combinamos una aplicación selectiva de electroestimulación del cuádriceps femoral, con el ejercicio de extensión de la rodilla en la silla de cuádriceps, sin aplicación de carga adicional (solo 15 kilos que no influyen en el trabajo de los culturistas, pero que sí son necesarios para establecer una conexión con el sistema nervioso central, y así poner en funcionamiento todos los sistemas de conducción desde el cerebro).

### **Protocolo de estimulación eléctrica**

No podemos afirmar que tengamos una unificación científica con respecto a la idoneidad de los parámetros para estimular determinados tipos de fibras musculares y

discriminar el resto. Debemos tener en cuenta que la fisiología sigue una línea general de comportamiento pero no es idéntica en toda la población. Con estas premisas encontramos que a igualdad de parámetros tenemos respuestas diferentes, por lo que debemos ajustarlos a cada individuo.

El protocolo de estimulación eléctrica diseñado para esta estudio consiste en la aplicación de la corriente rusa sobre el vientre muscular del cuádriceps femoral del muslo de menor perímetro.

Se eligió la modulación en 50Hz ya que nuestro objetivo fue incidir sobre las fibras intermedias (Tónico-Fásicas)<sup>(1)</sup> que son las que generalmente se hipertrofian durante el entrenamiento tradicional. Con 30Hz se actúa solo sobre las fibras lentas siendo casi imposible reclutar las fibras rápidas cuando las lentas llegasen a su agotamiento. Por el contrario con frecuencias superiores del orden de los 70Hz la respuesta es mucho más rápida y masiva (acá se involucran no solo las rápidas sino las lentas y las intermedias), se corre el riesgo de que las UM se agoten en menos de 10 repeticiones y los culturistas no puedan cumplir con el protocolo y el objetivo propuesto. Vale aclarar que un trabajo que vence pocas repeticiones se relaciona con aumentos en la fuerza máxima y en la potenciación muscular, que no es precisamente el objetivo buscado en este estudio.

El muslo elegido para el entrenamiento con EENM fue el de menor perímetro, con el objetivo de equilibrar el peso corporal total. En los casos en que la hipertrofia del muslo experimental supere a la del muslo testigo, se equilibrarán las diferencias.

El protocolo de EENM consistió en la aplicación de las Corrientes Rusas bajo el modo “TODOS” que brinda el equipo de la empresa “TEXEL”. En este modo la salida de la corriente se produce en los 4 canales a la vez, utilizando dos canales por sujeto. Un culturista utiliza el canal 1 y 2, estimulando los vastos con el 1 y el recto anterior con el 2. Así, el compañero se vale de los canales 3 y 4 con las mismas características.

Los sujetos realizaron el entrenamiento con EENM simultáneamente. Esto reforzó el incentivo de los mismos, quienes competían soportando la máxima intensidad tolerable. La relación elegida entre el impulso de estímulo y el reposo fue  $B/A = 2/1$  (cada 2 pausas de una duración de 6.66ms cada una, se produce un estímulo de 6.66ms). El reposo entre los trenes tiene que ser más largo, por lo menos del doble que el impulso de estimulación, otro factor por el cual elegimos la modulación en 50Hz.

El programa comprende 3 series de 10 repeticiones con 60s de pausa entre serie y serie. Esa pausa se utiliza para el entrenamiento del cuádriceps contra lateral; el cual sigue las mismas características que el anterior ( 3 series de 10 contracciones con un kilaje adecuado para alcanzar el fallo muscular).

El programa de estimulación diseñado presentó las siguientes características:

ESTIMULACIÓN: 7s.

- Rampa de ascenso: 2s (fase concéntrica)
- Meseta de estímulo máximo: 2s (no más, es muy doloroso en esta posición)
- Rampa de descenso: 3s (fase excéntrica)
- Pausa: 2s

REPOSO: 60s. (descanso entre serie y serie, tiempo de trabajo del cuádriceps contra lateral).

Se realizan 3 SERIES DE 10 ESTIMULACIONES con un período de REPOSO entre serie y serie.

Es importante comentar, que para la realización de este estudio, sugerimos a la empresa “TEXEL” agregar a la corriente rusa, una rampa bajada con el objetivo de prolongar la contracción excéntrica, con la que fisiológicamente se degrada la mayor cantidad de proteínas, resultando en el reposo, en un aumento de la masa muscular (hipertrofia). Por lo anteriormente dicho la rampa de bajada es la más prolongada.

### **La Intensidad**

La intensidad se selecciona bajo la dependencia del umbral de tolerancia del sujeto en estudio, umbral que aumenta con el correr de los días de estimulación, ya que las fibras musculares tienen la propiedad de adaptarse de manera progresiva a cargas cada vez mayores así como por acostumbramiento a la corriente eléctrica<sup>(42)</sup>.

El equipo consta de 7 escalones de regulación de intensidad, los cuales tomamos en cuenta para determinar a que porcentaje de intensidad estaban trabajando los culturistas. Se registra una intensidad de 60 mA de corriente eficaz, en el séptimo regulador<sup>(\*)</sup>, o sea el escalón máximo, que corresponde a una corriente de pico de 84,6mA. Se establece

---

<sup>(\*)</sup>creemos que existe un séptimo escalón regulador de intensidad, aunque solo se vean dibujados 6 de los mismos, ya que sobrepasando el n° 6 el equipo permite entregar un adicional de intensidad.

que al realizar un trabajo que soporte una intensidad de 60 mA, se estaría utilizando el 100% de intensidad que entrega el equipo generador de ondas rusas utilizado en este estudio.

Reguladores	Intensidad (mA)	Porcentaje de Intensidad en relación al escalón regulador correspondiente.
1	8,57 mA	14,28%
2	17,14 mA	28,56%
3	25,71 mA	42,85%
4	34,28 mA	57,13%
5	42,85 mA	71,41%
6	51,42 mA	85,70%
7	60 mA	100%

Tabla 1 -Relación entre la intensidad (mA) y el porcentaje de la misma por escalón regulador.

La extensión total del protocolo fue de 3 semanas (desde el 01/07/05 al 21/07/05) y consistió en la aplicación de un total de 6 estímulos eléctricos (2 estímulos semanales, con dos días de descanso entre estímulo y estímulo) siguiendo, los lineamientos de recuperación que supone el entrenamiento tradicional de sobrecarga para la hipertrofia muscular.

### **Músculo a estimular**

El músculo a estimular fue el cuádriceps femoral, encargado de extender la pierna sobre el muslo. Se origina en la pelvis permite también la elevación del muslo hacia el tronco. Al formar parte de la cadena extensora de las extremidades inferiores, este músculo desarrolla una función puramente antigravitatoria, permitiendo que se mantenga una postura erguida.

### **Posición del músculo a estimular**

La rodilla se encuentra a 90° de flexión al comienzo y llega a 0 grados de flexión en el estímulo máximo, retomando los 90° de flexión con la bajada en contracción excéntrica.

### **Posición de los electrodos**

La colocación de los electrodos está orientada a conseguir la mejor respuesta muscular. Como se dijo anteriormente el estímulo eléctrico excita indirectamente al músculo se coloquen los electrodos de la forma en que se desee, ya que estamos trabajando sobre musculatura sana.

Utilizamos el método de estimulación monopolar teniendo el tamaño de los electrodos una relación de 1/3 en el vasto interno y externo del cuadriceps y una aplicación bipolar sobre el recto femoral.

Tendremos un electrodo proximal estimulando la salida del nervio crural y tres electrodos sobre los puntos motores del vasto interno, vasto externo y recto anterior, localizados generalmente en la unión entre el tercio superior y medio del vientre muscular. Para esto último pudimos guiarnos con los mapas de puntos motores (consta en el anexo), pero siempre buscando el punto ideal para cada individuo. En cierto modo es seguir la frase del excelente profesor Toni Fernandez “Móntatelo como quieras” con tal de obtener la mejor respuesta excitomotora<sup>(41)</sup>.

El recto anterior es estimulado mediante el canal 1 o 3 con dos electrodos. El canal 2 o 4 tiene dos electrodos ubicados en los puntos motores de los vastos (interno y externo) respectivos. Al aplicar la intensidad debemos regular cada canal para obtener la respuesta deseada. Además la diferencia de excitabilidad entre ambos vastos traduce la necesidad de utilizar electrodos de diferente superficie para poder aislar ambas estimulaciones. Mientras disminuimos la densidad con un electrodo más grande en el punto motor correspondiente al vasto interno, le entregamos al vasto externo la misma intensidad pero con un electrodo más pequeño aumentando así la densidad. Es necesario remarcar esta diferencia ya que si al vasto interno se lo sobre estimula tiende a tetanizar y provocar un calambre doloroso.

(La imagen 7 consta en el anexo.)

---

<sup>(41)</sup>Citado por A. Basas García- Metodología de la electroestimulación en el deporte Doyma-Fisioterapia- Nov 2001. Vol 23 – N.2 p. 36 - 47

## **Control de unidades experimentales**

Antes de comenzar el protocolo se advirtió al culturista que durante las primeras sesiones acusaría los efectos lógicos de la aplicación de la EENM, indicando que en ningún caso son nocivos salvo la mala realización de la técnica. Es fundamental esta advertencia, pues de lo contrario se pierde la confianza del deportista incluso el rechazo a la técnica.

Al igual que con el entrenamiento voluntario, los culturistas percibían agujetas dependientes del acondicionamiento previo y de la intensidad de la corriente, las cuales permanecieron durante las primeras sesiones. (en condiciones normales el protocolo diseñado así como la intensidad, se aplican de forma progresiva, con lo que el riesgo es casi inexistente).

Al comienzo de cada rutina:

- Se supervisaron de manera personal las instrucciones y normas de empleo de los aparatos eléctricos estimulantes y en las condiciones en las que se encontraba el individuo.
- Se evaluó el estado de la piel y el trefismo muscular, posicionando luego los electrodos, sujetándolos correctamente.
- Se ubicó al culturista en sedestación en la cuadrífera, prefijando el kilaje de trabajo adecuado.
- Se seleccionaron los parámetros adecuados ajustando las variables.
- Se activó el aparato buscando el control de intensidad hasta alcanzar la óptima de tolerable por el sujeto.
- Durante toda la sesión se controlaron las condiciones prefijadas observando las respuestas del sujeto en el músculo estimulado.
- Al finalizar la sesión se constató el estado de la piel, del músculo escuchando la opinión del individuo sobre la sesión.

## **Resultados**

Los datos obtenidos, de las mediciones antropométricas (Perímetro de muslo medial, de cada uno de los sujetos estudiados, antes y después de la aplicación del protocolo con EENM se exponen a continuación.

Enumeramos a los sujetos a fin de facilitar la exposición de los datos.

- Perímetro de muslo medial (cm)

<i>SUJETOS</i>	<i>ANTES - 01/07/05</i>		<i>DESPUES - 21/07/05</i>	
	<i>Der</i>	<i>Izq</i>	<i>Der</i>	<i>Izq</i>
<i>1</i>	54,9cm	54,8cm	55,4cm	55,8cm
<i>2</i>	53,8cm	53,8cm	54,8cm	54,8cm
<i>3</i>	50,0cm	49,9cm	51,2cm	51,5cm
<i>4</i>	61,0cm	59,1cm	58,2cm	58,0cm
<i>5</i>	64,9cm	63,8cm	65,9cm	65,2cm
<i>6</i>	64,8cm	64,7cm	65,3cm	65,7cm

**Tabla- 2** Perímetro del muslo medial del muslo experimental y del muslo testigo, antes y después del protocolo de EENM, datos utilizados para calcular el área del muslo total.

**La Tabla- 2** muestra los datos obtenidos en el Indicador Perímetro del muslo medial, datos que utilizamos para el cálculo del Área Total del Muslo.

Con este cálculo se evalúa comparativamente, el progreso (en %) de las unidades experimentales ( muslo testigo y muslo experimental), tras la aplicación del protocolo de EENM.

		<b>Muslo Derecho</b>	<b>%</b>	<b>Muslo Izquierdo</b>	<b>%</b>	<b>DIF %</b>
<b>1</b>	Antes	2367,20 cm <sup>2</sup>	1,8	2358,58 cm <sup>2</sup>	3,6	1,8
	Después	2410,51 cm <sup>2</sup>		2445,45 cm <sup>2</sup>		
<b>2</b>	Antes	2273,29 cm <sup>2</sup>	3,7	2273,29 cm <sup>2</sup>	3,7	—
	Después	2358,58 cm <sup>2</sup>		2358,58 cm <sup>2</sup>		
<b>3</b>	Antes	1963,5 cm <sup>2</sup>	4,7	1955,65 cm <sup>2</sup>	6,2	1,5
	Después	2058,87 cm <sup>2</sup>		2083,07 cm <sup>2</sup>		
<b>4</b>	Antes	2922,47 cm <sup>2</sup>	-6,2	2743,25 cm <sup>2</sup>	-0,7	5,5
	Después	2660,33 cm <sup>2</sup>		2642,08 cm <sup>2</sup>		
<b>5</b>	Antes	3308,11 cm <sup>2</sup>	3,1	3196,92 cm <sup>2</sup>	4,3	1,2
	Después	3410,84 cm <sup>2</sup>		3338,76 cm <sup>2</sup>		
<b>6</b>	Antes	3297,92 cm <sup>2</sup>	1,6	3287,75 cm <sup>2</sup>	3,1	1,5
	Después	3349,01 cm <sup>2</sup>		3390,17 cm <sup>2</sup>		

**Tabla- 3** Área del Muslo Total. Comparación en cm<sup>2</sup> del área total del muslo de ambas unidades experimentales antes y después de la aplicación del protocolo de EENM. Se observa también el progreso en % de cada unidad experimental, luego del tratamiento.

Antes de analizar los resultados de la Tabla- 3 se presenta la Tabla- 4 en donde aparecen registrados los datos en relación a la intensidad utilizada por cada uno de los culturistas durante las sesiones de EENM.

Intensidad medida por sesión de estimulación.

	Sujetos					
N° de Sesión	1	2	3	4	5	6
S 1	17,14 mA	17,14 mA	17,14 mA	25,71 mA	42,85 mA	17,14 mA
S 2	25,71 mA	25,71 mA	34,28 mA	42,85 mA	42,85 mA	25,71 mA
S 3	34,28 mA	25,71 mA	42,85 mA	42,85 mA	34,28 mA	34,28 mA
S 4	34,28 mA	25,71 mA	51,42 mA	51,42 mA	51,42 mA	34,28 mA
S 5	34,28 mA	25,71 mA	42,85 mA	42,85 mA	60 mA	34,28 mA
S 6	34,28 mA	34,28 mA	42,85 mA	51,42 mA	42,85 mA	34,28 mA

**Tabla- 4.** Intensidad medida en mA en cada culturista por sesión de electroestimulación.

**En la Tabla- 4** se observa que en la mayoría de los sujetos, la intensidad utilizada para el trabajo con electroestimulación, tras el paso de las sesiones, aumentó. La gran fatiga

muscular, el dolor post-sesión ( lógico con este tipo de entrenamiento), el miedo, o la desconcentración, en ciertas oportunidades, obligó a los sujetos n=3, n=4, n=5 a disminuir la intensidad con la que venían trabajando, intensidad de trabajo que recuperan tras el período de descanso.

Creemos importante comentar que en ciertas oportunidades fue necesario disminuir la intensidad de los canales de estimulación correspondientes a los vastos (interno y externo), ya que a pesar de disminuir la densidad con un electrodo de mayor superficie en el vasto interno, los sujetos refirieron mayor fatiga. A comparación del sujeto n=5 que desde un principio utilizó intensidades de más del 70% de la intensidad a la que se puede trabajar con este equipo, el sujeto n=2 no superó los 25,71 mA lo que se traduce en un porcentaje de trabajo del 42,85%, parámetro que obstaculizó el progreso de este culturista en la ganancia de la masa muscular.

**La Tabla- 3** muestra que en 4 de los 6 culturistas ambas unidades experimentales (muslo derecho=testigo y muslo izquierdo=experimental) obtuvieron tras 3 semanas de tratamiento, aumentos significativos en el área del muslo total, que se traducen a hipertrofia muscular. También se observa que el tratamiento con EENM supera al tradicional en 1.5 % promedio.

El sujeto n=2 no obtuvo mejoras con la aplicación de la EENM. Si bien en la Tabla- 1 vemos que n=2 aumentó 1cm en cada muslo, no consideramos a este parámetro significativo para el análisis de nuestro estudio. La diferencia observada en la Tabla- 4 entre ambos tratamiento es clara, la aplicación del método tradicional arrojó los mismos resultados que la aplicación del método con EENM. Atribuimos esto a que las intensidades manejadas por n=2 durante el protocolo fueron muy bajas a comparación de los demás, fundamentalmente por el miedo y la desconfianza hacia la corriente eléctrica. Todos los sujetos refirieron una fatiga sumamente notoria tras la aplicación de la EENM.

En cuanto al sujeto n=4, es importante mencionar que en la entrevista previa a la realización del estudio, el sujeto manifestó haber terminado días atrás un plan de anabólicos esteroides. La Tabla- 1 muestra que el porcentaje de mejora de ambas unidades experimentales fue negativo. Si observamos la Tabla- 4 veremos que la pérdida de masa muscular en el muslo experimental fue de un 5.5% menor que en el

muslo testigo. Resulta interesante decir que fue el culturista más beneficiado en cuanto a la mantención del balance muscular. Resultado que se traduce como positivo, remarcando la eficacia de la EENM para la hipertrofia muscular.

Resumiendo, teniendo en cuenta que los sujetos n=1, n=3, n=5, n=6 , que conforman el 66% del total de los culturistas, obtuvieron mejoras significativas en el aumento de la masa muscular y que estos datos muestran que el entrenamiento tradicional de sobrecarga es superado con el complemento de la electroestimulación, añadiendo la interesante y notoria mejora del sujeto n=4, y justificando con factores dependientes del sujeto (miedo, desconfianza) el no progreso del sujeto n=2; estamos en condiciones de decir que los datos han arrojado una modificación positiva en la hipertrofia muscular del muslo experimental tratado con EENM hecho que nos avala la hipótesis propuesta en este estudio.

## **Conclusión**

Los datos finales obtenidos comprueban lo planteado en la hipótesis, la aplicación de un protocolo de estimulación eléctrica con Corrientes Rusas aumenta la masa muscular (hipertrofia muscular) en culturistas, sirviendo como método complementario al entrenamiento voluntario de sobrecarga para tal fin ya que con el complemento de la electroestimulación se han superado los resultados obtenidos con el entrenamiento tradicional de sobrecarga para la hipertrofia muscular.

El equipamiento utilizado, Generador de Ondas Rusas de la empresa “TEXEL”, cumplió con las expectativas planteadas.

La selección de los parámetros, tipo de corriente portadora, frecuencia de modulación, relación pausa/estimulación, tipo de onda, intensidad, duración del estímulo, así como la de las mediciones antropométricas elegidas, perímetro del muslo medial, han sido las correctas porque han servido significativamente para avalar la hipótesis planteada.

El hecho de aplicar electroestimulación en culturistas nos ha aportado más elementos a favor que en contra. Es importante tener en cuenta que el culturista, no es un sedentario. La gran experiencia en el entrenamiento de sobrecarga, otorga a éstos individuos aptitudes neuromusculares para alcanzar el fallo muscular y la consecuente hipertrofia muscular. La inexperiencia con respecto a la corriente eléctrica, no se presenta como un obstáculo a la hora de soportar intensidades relativamente altas durante el ciclo de trabajo; cabe aclarar que se realizaron las sesiones previas necesarias con el objetivo de que el culturista se familiarice con el “nuevo estímulo”, pero no demasiado ya que partiendo de los principios de entrenamiento, sabemos que la variabilidad del estímulo es de suma importancia para que el sujeto progrese. La aplicación de este “nuevo” estímulo sirve para enfatizar la hipertrofia muscular. No hay que olvidar que los culturistas están sobre el límite de su capacidad de crecimiento muscular, por lo tanto resulta difícil medir el progreso obtenido con la EENM en cuanto a si los cambios mensurados son significativos o no; creemos que obtener ganancia de hipertrofia, en este tipo de individuos, sin consumo adicional de esteroides anabólicos, con solo 6 estímulos eléctricos en el transcurso de 3 semanas, nos da la pauta de ser un indicador positivo para el progreso mencionado.

Las conclusiones a las que se ha abordado son transitorias ya que se reducen al grupo de culturistas con el que se ha trabajado hasta el momento. Dado que los resultados han

sido favorables en términos de lo planteado, este estudio sienta las bases para una investigación posterior con un grupo experimental más numeroso y durante un tiempo más prolongado.

**Anexo**



**Imagen- 1.**

Instrumento  
de medición:  
Cinta Métrica.



**Imagen- 2.** Mediciones antropométricas - Perímetro del muslo medial.



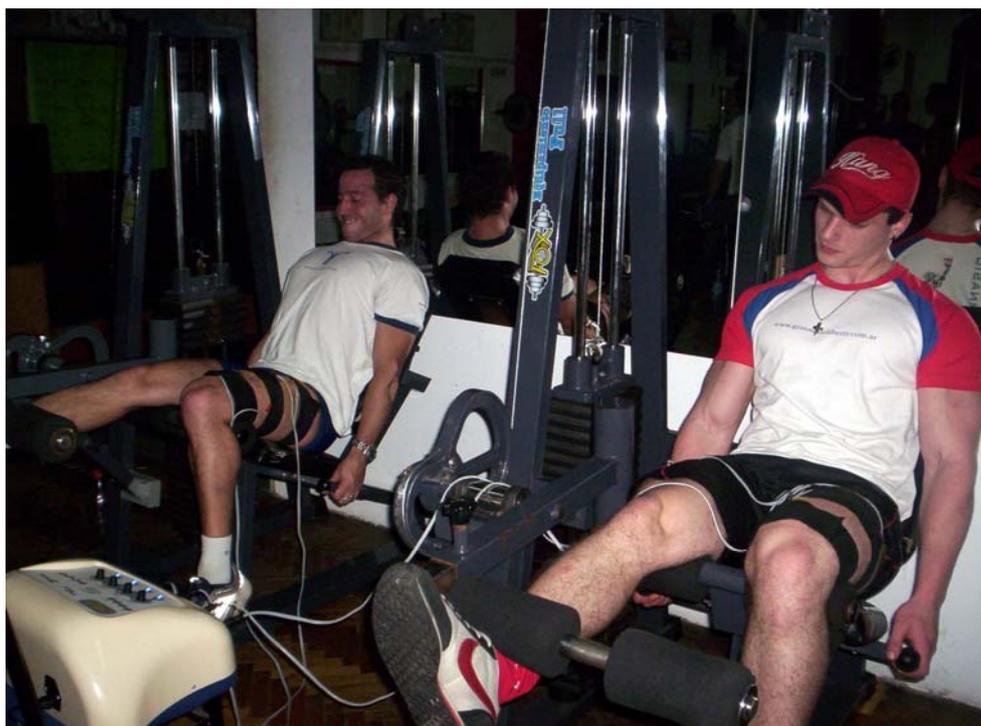
**Imagen- 3.** Equipo Generador de Ondas Rusas de la Empresa “TEXEL”.



**Imagen- 4.** Ejercicio 1 - Sentadilla con Sobrecarga.



**Imagen- 5.** Ejercicio 2 - Prensa a 45° con sobrecarga.



**Imagen- 6<sup>(1)</sup>.** Ejercicio 3 – Extensión de rodilla en la cuádriceps (Tratamiento del muslo Testigo, con entrenamiento tradicional.)



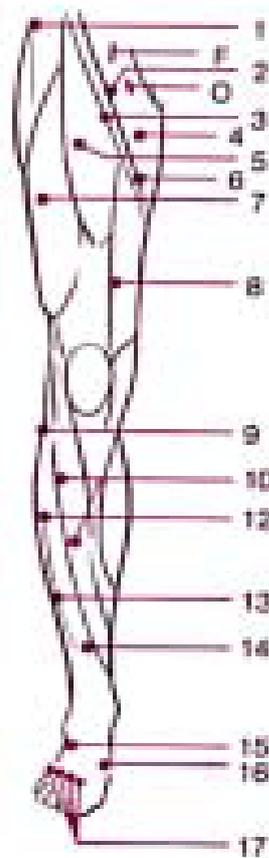


Imagen- 6<sup>(2)</sup>. Ejercicio 3 - EENM en la cuádriceps (Tratamiento del muslo experimental).





**Imagen 7** – Colocación de los electrodos



**Imagen<sup>(43)</sup>**- “Mapa de referencia de puntos motores y nerviosos”.

F - Nervio femoral.

5 - Recto fem. Femoral-- L2-4.

8 - Vasto interno. Femoral-- L2-4.

7 - Vasto externo Femoral-- L2-4.



**Imagen- 7.** Edgardo Grisolia, Ing. Roberto Gibbons (Texel) y María Victoria Plá.

## **PLANILLA PERSONAL**

### **DATOS PERSONALES**

\*NOMBRE Y APELLIDO:

\*EDAD:

\*DIRECCIÓN Y TEL:

\*PESO:

\* ALTURA

### **ENTRENAMIENTO**

\* TIPO DE ENTRENAMIENTO QUE REALIZA:

\* CUANDO COMENZÓ LA ACTIVIDAD?

\* EXPERIENCIA CON EENM?: SI O NO

### **EVALUACIONES**

\*FECHA DE EVALUACIÓN PRE PROTOCOLO:

\*FECHA DE EVALUACIÓN POST PROTOCOLO:

\*Cantidad de estímulos eléctricos aplicados en dicho período:

### **MEDICIONES ANTROPOMÉTRICAS**

#### ***PERÍMETRO DE MUSLO MEDIAL:***

Muslo Derecho

Muslo Izquierdo

Antes:          Después :

Antes :          Después:

### **Intensidades de estimulación por sesión**

Sesión 1:

Sesión 2:

Sesión 3:

Sesión 4:

Sesión 5:

Sesión 6:

.....  
**Firma del participante**

.....  
**Firma de entrenador y la kinesióloga**

## **Bibliografía**

- 1- Boschetti, G. (2002). “¿Qué es la electroestimulación?” Teoría, práctica y metodología del entrenamiento. Ed. Paidotribo. Barcelona.
- 2- Rach, P.J.; Burke, R.K. (1980). “Kinesiología y anatomía aplicada. La ciencia del movimiento humano”. Capítulo I: Historia de la kinesiología. Ed. Ateneo, S.A. Barcelona.
- 3- Cometti, G. Los Métodos Modernos de Musculación. Ed. Paidotribo. Barcelona. (1998).
- 4- Ward and Shkuratova-Perspective “Russian Electrical Stimulation: The Early Experiments” Physical Therapy Volume 82 · Number 10 · October (2002).
- 5- Erickson, E., et al. “Effect of electrical stimulation on human skeletal muscle.” Int-I Sports Med 2: 18-22.
- 6- Delitto A.; Brown M.; Strube M.J.; Rose S.J.; And Lehman R.C. (1989). “Electrical stimulation of quadriceps femoris in an elite weight lifter: a single subject experiment”. Int. J. Sports. Med., 10 (3): 187-191.
- 7- Dooley, P.; McDonagh, J.N.; White, M.J. (1983). “Training using involuntary electrically evoked contractions does not increase voluntary strength”. J. Physiol., 346: 61.
- 8- Gilles Cometti, “La Pliometría”, INDE Publicaciones, Barcelona, (1998)
- 9- Gilles Cometti, “Intéret de l'électrostimulation dans l'entraînement des sportifs de haut niveau" - [www.preparation-physique.net/PDF/cometti\\_elec.pdf](http://www.preparation-physique.net/PDF/cometti_elec.pdf).
- 10- Kracka J, Zrubak A ,(1970) –“Tentative de renforcement des muscles par courant électrique. Kinanthropologie” 2 (1): 5-54.
- 11- Kotz, YM; Chwilon BA. “Entraînement de la force musculaire par la méthode d'electrostimulation Teorija i praktica fiseskoi kul'tury” (1971); 4: 66-73.
- 12- Martin, L.; Cometti, G.; Pousson, M.; Morlon, B. (1994). “The influence of electrostimulation on the mechanical and morphological characteristics of the triceps surae”. J. Sports. Sci., 12 (4): 377-381.
- 13- M. Martinez Morillo, J.M.Pastor Vega, F. Sendra Portero- “Manual de Medicina Física”- Editorial Harcourt (2000).

- 14- Brian D. Johnston “ElectroMyoStimulation” Synergy, (2004).  
<http://www.rendimientodeportivo.com/N003/Artic013.htm>
- 15- Hakkinen, K., and P. V. Komi. “Electromyographic changes during strength training and detraining.” *Med. Sci. Sports Exerc.* 15:455-460, 1983.
- 16- Moritani and DeVries HA (1979) “Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain.” *American Journal of Physical Medicine* 58(3):115-130.
- 17- Maffiuletti, N.A., Dugnani, S., Folz, M., Di Pierno, E., and Mauro, F. (2002) “Effect of combined electrostimulation and plyometric training on vertical jump height.” *Medicine and Science in Sports and Exercise* 34, 1638-1644.
- 18- Hortobágyi T; Scott K; Lambert J; Hamilton G; Tracy J. “Cross-education of muscle strength is greater with stimulated than voluntary contractions.” *Motor Control.* (1999); 3(2): 205-19.
- 19- Weineck, J. (1996). “Optimales Training”. Erlangen: spitta
- 20- Duchateau, J & Hainaut, K (1993). “Behaviour of short and long latency reflexes in fatigued human muscles.” *Journal of Physiology* 471, 787-799
- 21- Enoka, R.M., (1988) “Muscle strength and its development” : new perspective, *Sports Medicine*, 6, 146-168.
- 22- [www.usuarios.lycos.es/halterofilismo/hipertrofia.htm](http://www.usuarios.lycos.es/halterofilismo/hipertrofia.htm)
- 23- William E. Prentice. “Técnicas de rehabilitación en la medicina deportiva” 2da Edición Editorial Paidotribo (1999).
- 24- J.Plaja “Analgesia por medios físicos” Editorial McGRAW-HILL-INTERAMERICANA (2003).
- 25- Henneman E, Somjen G, Carpenter DO. “Functional significance of cell size in spinal motoneurons.” *J Neurophysiol.* 1965;28:560 –580.
- 26- [www.efdeportes.com/efd48/haltero1.htm](http://www.efdeportes.com/efd48/haltero1.htm)
- 27- Jose María Rodríguez Martín- “Electroterapia en Fisioterapia” Madrid: Médica Panamericana (2000).
- 28- Kanda (K.) and Desmedt (J.E.). “Cutaneous facilitation of large motor units and motor control of human precision grip.” In: *Motor control mechanisms in health and disease*, J.E. Desmedt (Ed.). New York: Raven Press, (1983),253-261.

- 29- Chris M Gregory and C Scott Bickel – Perspective “Recruitment Patterns in Human Skeletal Muscle During Electrical Stimulation” Physical Therapy - Volume 85 · Number 4 · April (2005).
- 30- Kim CK, Bangsbo J, strange S, et al “Metabolic response and muscle depletion pattern during prolonged electrically induced dynamic exercise in man.” Scand J Rehabil Med. (1995); 27:51-58.
- 31- Sinacore DR, Delitto A, King DS, Rose SJ. “Type II fiber activation with electrical stimulation, a preliminary report.” Phys Ther.1990; 70: 416-422.
- 32- Delitto A, Brown M, Strube MJ, et al- “ Electrical stimulation of quadriceps femoris in an elite weight lifter: a single subject experiment.” Int J Sport Med. (1989); 10:187-189.
- 33- Feiereisen P, Duchateau J, Hainant K “Motor unit recruitment order in voluntary and electrically elicited contractions”. J Appl Physiol. (1990); 68:1657-1667.
- 34- [www.tens.es/formacion/Pags.Est.musc/Cont.Pag3ParamEM.html](http://www.tens.es/formacion/Pags.Est.musc/Cont.Pag3ParamEM.html)
- 35- Roger M. Nelson, Karen W. Hayes, Dean P. Currier “Clinical Electrotherapy” tercera edición, ed. APPLETON & LANGE Stamford, Connecticut (1999).
- 36- Matheson GO, Dunlop RJ, McKenzie DC, Smith CF, Allen PS. ”Force output and energy metabolism during neuromuscular electrical stimulation: a <sup>31</sup>P-NMR” Scand J Rehabil Med. (1997) Sep;29(3):175-80.
- 37- Ricardo Luis Scarfó- “Los factores de crecimiento muscular y los ejercicios de fuerza” -Revista Digital [www.efdeportes.com/](http://www.efdeportes.com/) -Buenos Aires- Año 10 - N° 83 - Abril de (2005).
- 38- [www.mundogym.com.ar/Secciones/Medicina/todos/fisiologia/hipertrofia%20.htm](http://www.mundogym.com.ar/Secciones/Medicina/todos/fisiologia/hipertrofia%20.htm)
- 39- Kevin Norton y Tim Olds , Edición en español Dr. Juan Carlos Mazza- “Antropométrica” (2000) primera edición. Ed. Biosistem servicio educativo. Rosario Argentina.
- 40- Leamy, D.T. et al “Kinanthro Pometry” - Baltimore, (1980) reproducido por Mac Dougall, A. et al. op. cit. pag 281.
- 41- A. Basas García- “Metodología de la electroestimulación en el deporte” Doyma - Fisioterapia (Nov 2001). Vol 23 – N.2 p. 36 – 47.

- 42- Miller C.; Thépaut-Mathieu C. (1993). "Strength training by electrostimulation conditions for Efficacy". *Int. J. Sports. Med.*, 14 (1): 20-28.
- 43- <http://www.paidotribo.com/pdfs/754/754.0.pdf>
- 44- Calderari, Susana A. "Biología" Tomo 1 - Cátedra de Biología Departamento de Ciencias Fisiológicas Escuela de Medicina. UNR. Facultad de Ciencias Médicas. (1985).