



ABRIR RESULTADOS

11.3.- VARIACIONES EN LOS ATLETAS DE VELOCIDAD. GRUPO V21.

En este grupo de atletas, la fibra muscular predominante difiere de las que hemos descrito hasta ahora, no solo desde el punto de vista funcional, como veremos más adelante, sino también en su base morfológica ultraestructural. Las formas citológicas que hemos descrito como predominantes para R21 y R25, pensamos que corresponde a las tipo I y IIc, y también aparecen en este grupo de velocistas de carrera, pero en mucha menor proporción y en menor tamaño que en el grupo control. Sin embargo, en este caso la mayor frecuencia corresponde a la otra población celular, que disminuía lentamente en el entrenamiento para resistencia y que creemos que corresponde a las fibras musculares tipo IIa y IIb.

Las zonas de crecimiento longitudinal de estas fibras musculares en sus extremos afilados, presentan una acumulación de núcleos con distinta configuración desde los clásicos con indentaciones en la porción que comienza a disminuir de calibre, hasta los de eucromatina dominante, con aspecto mioblástico, en las zonas próximas a los extremos (Figuras 67 N y 68A →).

En las cercanías de los núcleos con cromatina más laxa, suelen alojarse células satélites, debajo de la lámina basal (Figura 67 CS). A microscopía electrónica no se aprecian claras diferencias en su aspecto, que indiquen un cambio funcional. Presentan núcleos redondeados o facetados, con cromatina pegada a la carioteca y alguna vez indentaciones no muy marcadas. En algunos casos existen zonas de contacto entre su citoplasma y el de la célula muscular, que hacen pensar en una posible continuidad, porque no son visibles las membranas de ambas células en toda su extensión. Es más frecuente en zonas próximas a un núcleo de miocito de aspecto laxo. Todos los núcleos muestran las pequeñas porciones redondeadas no electrodensas, que ya habíamos descrito como zonas de ubicación de poros nucleares.

En esta localización, las mitocondrias aparecen también en zona subsarcolémica (Figura 67 *), pero casi nunca en grandes acúmulos, sino más bien alineadas bajo la membrana y con alguna concentración perinuclear más abundante. Entre las miofibrillas siguen estando de forma constante, en las células que presentan el acúmulo subsarcolémico en mayor cantidad (Figura 69 *), pero no son tan abundantes como en los atletas de resistencia. La mayoría de ellas se pueden localizar como una pequeña hilera entre los paquetes de miofibrillas de los extremos de crecimiento longitudinal (Figura 67 m).

Esta región de gran actividad, difiere del resto de la célula en la mayor cantidad de mitocondrias intermiofibrilares, sobre todo en relación a zonas de rotura de las miofibrillas (Figura 68 M), que a veces se produce a varios niveles de la misma sarcómera (F67 → y 68 B). En estos casos, al lado de las mitocondrias podemos encontrar gotas lipídicas (Figura 68 B L).

El tejido conjuntivo en relación con las zonas de crecimiento longitudinal, presenta un espacio más reducido que en los estudiantes del grupo control, pero, aunque pueden aparecer capilares (Figura 70 C) con formas alargadas en el corte oblicuo para adaptarse al espacio existente, no sufren en su trayecto las aparatosas modificaciones que veíamos en los deportistas de resistencia, manteniendo además un calibre normal. Las células propias del tejido, en esta localización, no son tan variadas como en los casos anteriores, predominando sobre todo los fibroblastos, con su estructura típica y citoplasmas repletos de organelas (Figura 69 F).

En el espesor del parénquima y con las fibras cortadas longitudinalmente, podemos ver los característicos paquetes de miofibrillas en haces paralelos y con las líneas Z alineadas en sus regiones más estables. Pero hay zonas en las que estas líneas están interrumpidas y divididas en pequeñas porciones, siempre en lugares próximos a desflecamientos de los miofilamentos, de forma que se pierde la estructura regular (Figuras 71 * y 72 *). Entre estas pequeñas fracciones electrodensas que constituyen las líneas Z interrumpidas, podemos constatar la presencia de hialoplasma, que va separando los fragmentos unidos originariamente.

No se ven roturas en la línea M, es decir, la zona A puede fragmentarse también en las miofibrillas que presentan escisiones en la línea Z, pero nunca a nivel de la línea M, de forma que queda la sarcómera dividida en dos partes asimétricas: una más pequeña sin línea M y otra mayor, que contiene la zona H y la línea M de la sarcómera original (Figura 74 →). Parece que a partir de estas líneas Z que no presentarían una contracción eficaz, pueden alinearse nuevamente los filamentos.

En algunos casos se ve que falta ya un alineamiento de la sarcómera rota, de forma que un paquete de miofilamentos se va orientando hacia otros adyacentes de las mismas características, aunque hay porciones de hialoplasma y organelas como mitocondrias y cisternas de RS en su trayecto, que modifican o enlentecen el proceso (Figura 74). En las imágenes estáticas no podemos saber si estas fibras se están alejando o aproximando pero se podrán plantear y analizar ambas hipótesis.

En otros campos las miofibrillas tienen líneas Z completas y microfilamentos insertados a cada lado, cerca de otras en las que la inserción de microfilamentos de uno de los lados aparece muy dudoso, con zonas poco electrodensas y un punteado que no sugiere proteínas organizadas en forma fibrilar (Figura 74 ★).

Si estudiamos a mayor aumento una de las líneas Z que se ha roto, vemos que presenta varias zonas perfectamente delimitadas: una porción estable muy electrodensa, con miofibrillas bien alineadas y ancladas a ambos lados, con sus bandas I y A completas y zona H con línea M ancha y marcada (Figura 73 A).

Una porción contigua, del mismo tamaño aproximadamente, algo menos electrodensa y con solo algunas miofibrillas fijas en ella. En la zona I de esta porción, vemos un material finamente granular, con distinta densidad electrónica entre los diferentes gránulos, entre otras estructuras filamentosas, que se disponen perpendiculares a la línea Z poco densa (Figura 73 B).

Al lado de esta zona, una tercera porción en la que no se distingue línea Z en el concepto clásico descrito, sino solo tres o cuatro estructuras muy finas de aspecto filamentoso dispuestas paralelamente y siguiendo la misma dirección de la línea, en las que parecen apoyarse pequeños puntos muy electrodensos, con aumento de polirribosomas en las proximidades. En esta región no se insertan miofilamentos, que se van aproximando, interrumpiéndose en las cercanías (Figura 73 C).

A nivel de la zona H, las miofibrillas que tienen inserción, aunque sea irregular, en la línea Z, presentan también línea M, pero ésta aparece muy difuminada y casi no se aprecia en la tercera porción (Figura 73 →).

El RS y el sistema de túbulos T, no tienen una morfología muy manifiesta en este grupo experimental, encontrando vesículas de pequeño tamaño a nivel de la línea Z, en aquellas que presentan su morfología normal (Figura 73 →), y sacos más dilatados en las zonas de rotura de éstas y de crecimiento de las miofibrillas (Figura 74 *). En el corte transversal quedan igualmente enmascarados (Figura 75 →), por la densidad que alcanzan las miofibrillas y la cantidad de glucógeno del hialoplasma.

Las mitocondrias en estas porciones medias de las células, son mucho menos numerosas, que en las fibras musculares predominantes en el grupo de atletas de resistencia y más regularmente repartidas, a ambos lados de la línea Z (Figuras 71 M y 73 M). También aparecen de mayor tamaño, interpuestas en las zonas de rotura de las miofibrillas (Figura 74 M). En raras ocasiones puede localizarse un pequeño

alineamiento subsarcolémico (Figura 78 →) y los acúmulos perinucleares son más importantes cuando acompañan a los núcleos de aspecto mioblástico (Figura 77 *).

El sustrato metabólico compuesto por el glucógeno, varía de unas células a otras con facilidad, pero en general parece de distribución más uniforme en este tipo de fibra muscular predominante, que en la tipo I de los atletas de resistencia, y bastante mayor que en la población control (Figuras 74 G y 75 ★). Las gotas lipídicas son mucho menos numerosas que en los grupos anteriores, pero siguen siendo similares las localizaciones (Figuras 77 L).

Los núcleos de esta porción media de los miocitos, que como en todos los casos anteriores se localizan en la periferia de la célula, también presentan formas variadas, desde los de aspecto globuloso (Figura 77 N), hasta los que sufren más los fenómenos de compresión por las miofibrillas al contraerse y muestran múltiples indentaciones en su estructura (Figura 76). Estos últimos, como en los casos anteriores, tienen más heterocromatina en su interior.

Las células satélites en esta porción de la célula, suelen localizarse en las inmediaciones del núcleo miocítico (Figura 77 CS). Entre las membranas de las dos células, pueden aparecer tanto aproximaciones, como separaciones, e incluso con acúmulo de material fibrilar poco electrodensó (Figura 77 ★), y en el caso que mostramos, nacimiento de túbulos T que se dirigen perpendicularmente a las miofibrillas más próximas (Figura 77 →).

Los capilares (Figura 78 C) que aparecen entre las paredes laterales de la porción media de los miocitos, están comprimidos por ellos, pero esta deformación en sus paredes, se recupera aparentemente en el momento de tránsito de elementos celulares en la luz del vaso, a expensas de la retracción de la fibra muscular a ese nivel (Figura 78 *). La población de células conjuntivas de estos espacios, es poco abundante, predominando fundamentalmente los fibroblastos de actividad moderada.

Entre estas fibras muy abundantes, que suponemos de tipo II por sus características morfológicas y su alta frecuencia en este grupo de deportistas, aparecen otras menos numerosas y más estrechas, en las que predominan las roturas en el punto medio de la línea Z dando la impresión de una bifurcación en las nuevas fibrillas formadas, que al avanzar las separa longitudinalmente. Entre estas miofibrillas aparecen acúmulos mayores de mitocondrias e incluso gotas lipídicas, por lo que pensamos que se pueden clasificar como fibras tipo I.

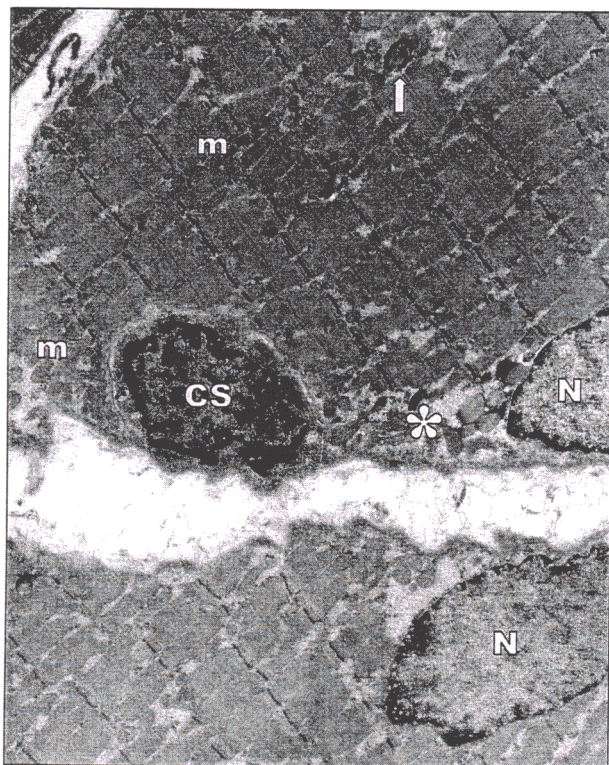


Figura 67.- Extremo de un miocito en corte longitudinal. Núcleos (N) y célula satélite (CS). Roturas para crecimiento (→) y acúmulo de mitocondrias entre fibrillas (m) o bajo el sarcolema (*). V21. 3000x.

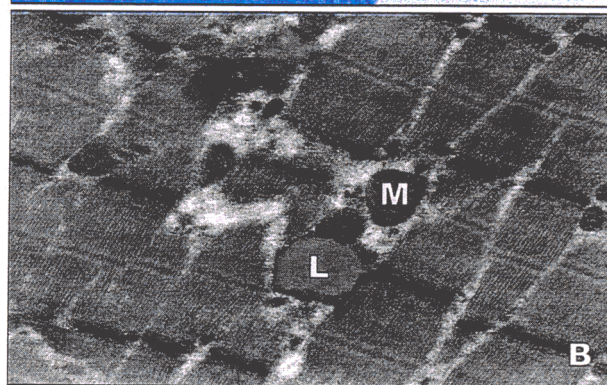
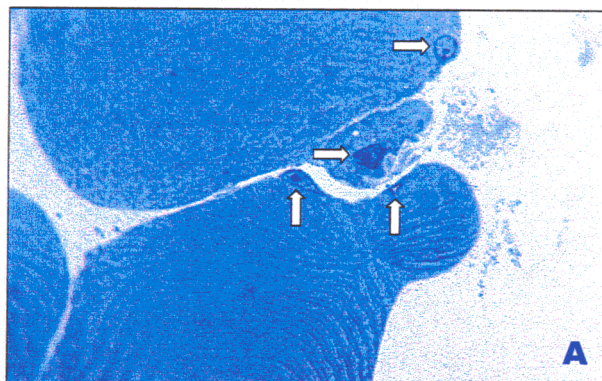


Figura 68 A.- Zona de crecimiento de aspecto romo de dos miocitos. Núcleos (→). Corte semifino. 400x.
68 B.- Rotura de miofibrillas con mitocondrias (M) y lípidos (L) interpuestos. V21. 6000x.

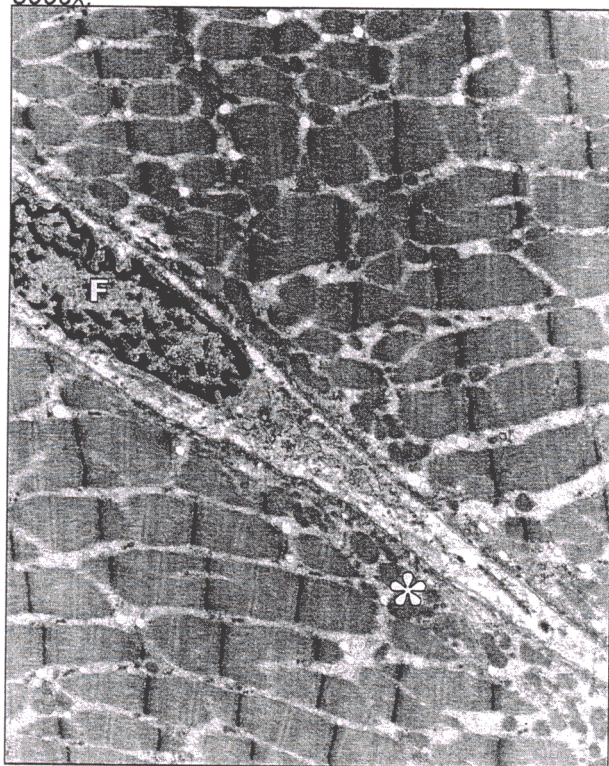


Figura 69.- Fibroblasto (F) entre dos células musculares, en su extremo de crecimiento distal. Mitocondrias subsarcolémicas (*). V21. 5000x..

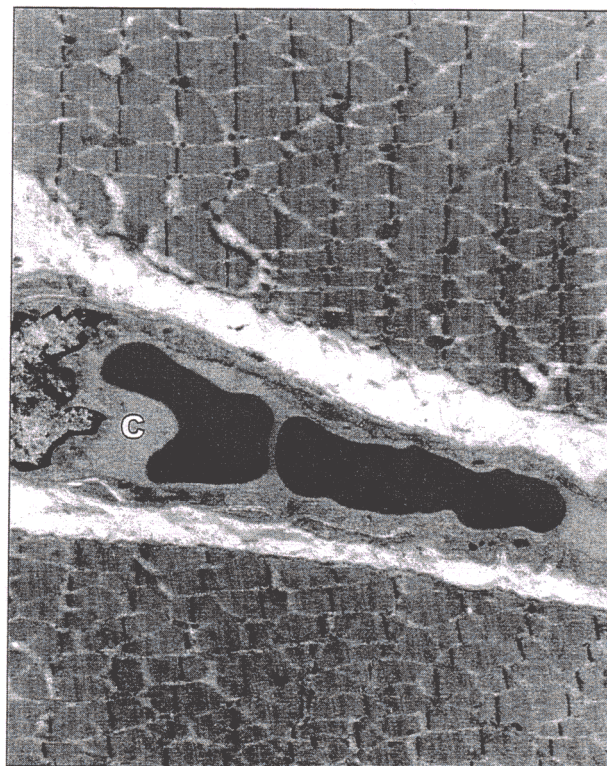


Figura 70.- Capilar intersticial (C) entre dos células musculares en las proximidades de la zona de crecimiento longitudinal. V21. 2000x.

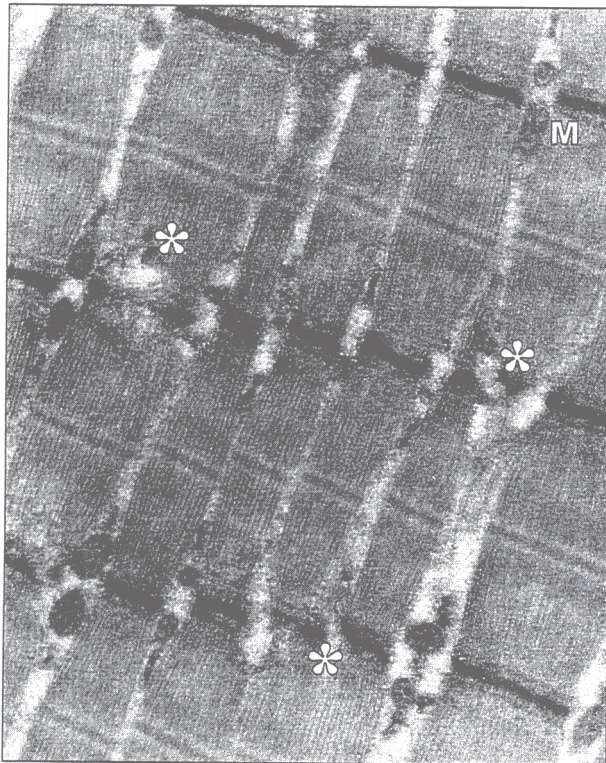


Figura 71.- Corte longitudinal de la zona media de una célula muscular con roturas en línea Z (*). Mitocondrias intermiofibrilares (M). V21. 10000x.

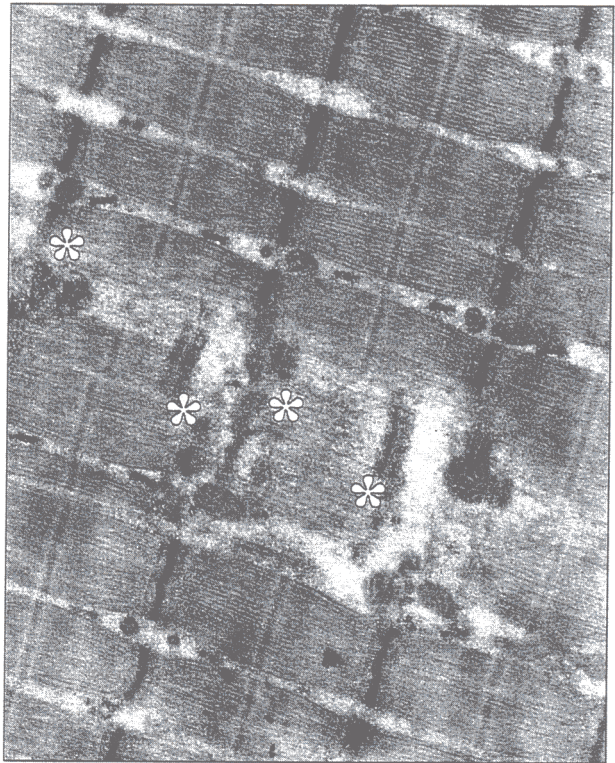


Figura 72.- Rotura de líneas Z de los haces de miofibrillas (*) entre otros haces íntegros. V21. 8000x.

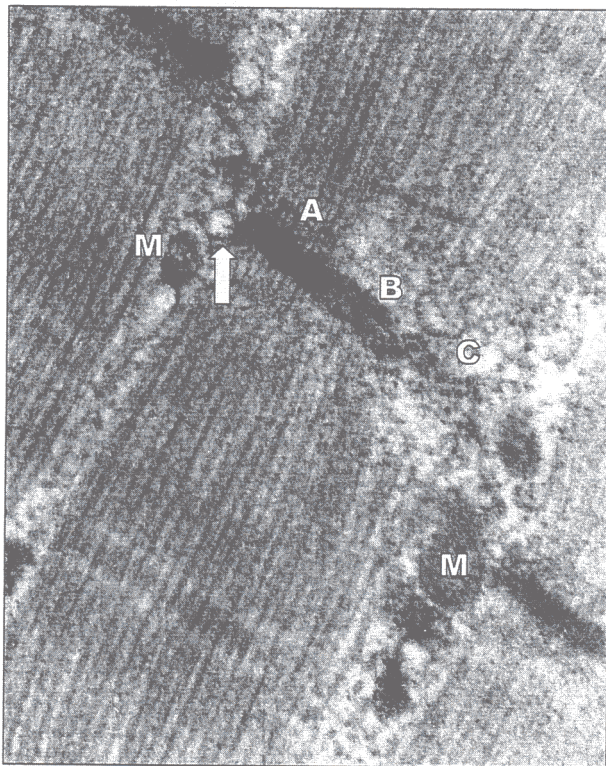


Figura 73.- Línea Z con electrodensidades diferentes (A, B y C), que se acompañan de diferente forma de inserción de las miofibrillas. Mitocondrias (M) y cisternas de RS (→). V21. 35000x.

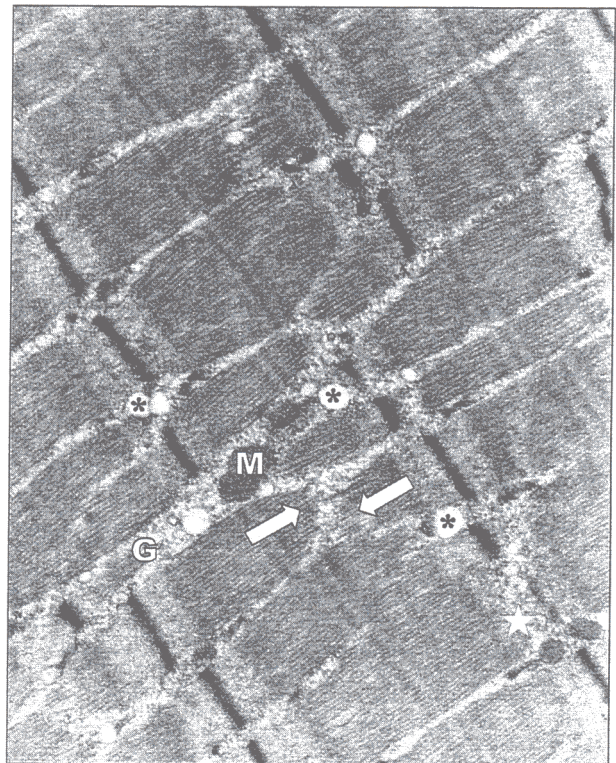


Figura 74.- Sección longitudinal de fibra muscular con rotura asimétrica de miofibrillas (→) y defectos de inserción (★). Mayor dilatación de cisternas de RS (*) y glucógeno (G) en el hialoplasma. V21. 8000x.

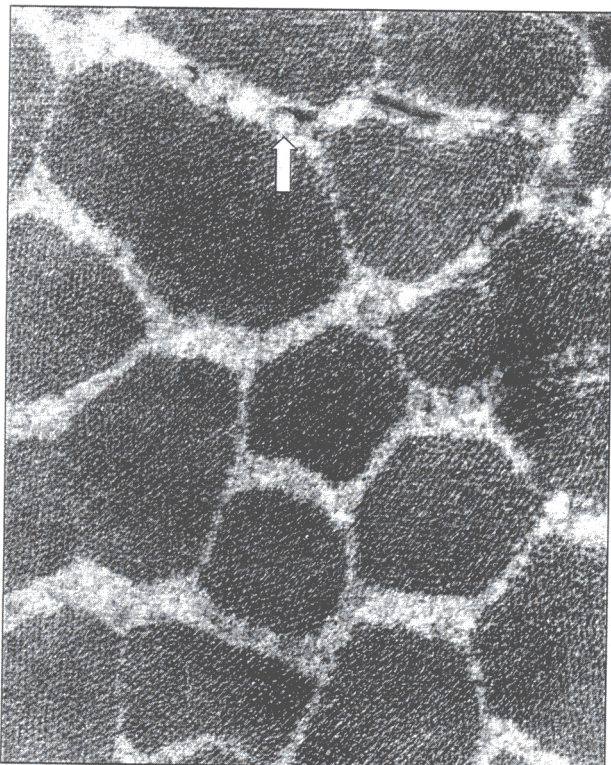


Figura 75.- Corte transversal de un miocito, con sistemas de RS poco manifestados (→) y glucógeno intermiofibrilar (*). V21. 12000x.



Figura 76.- Núcleo de una célula muscular con grandes indentaciones, en zona de miofibrillas estables. V21. 10000x.

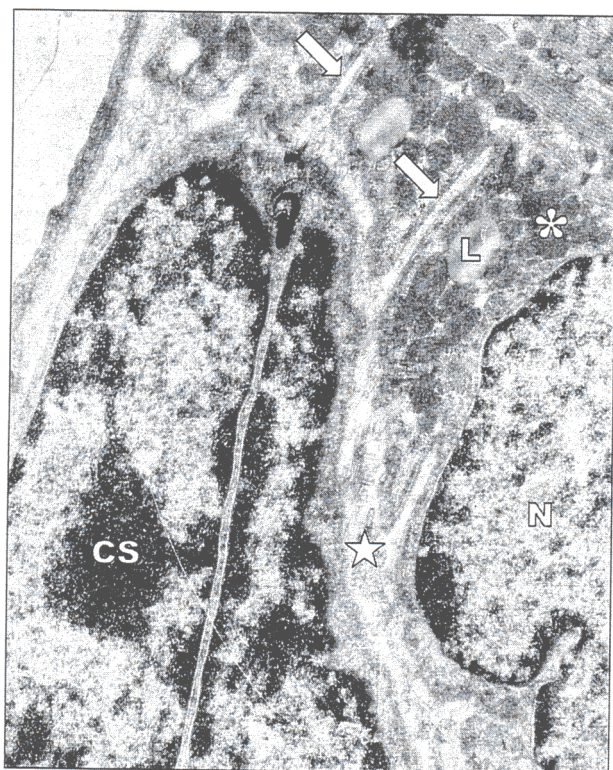


Figura 77.- Célula satélite (CS) y núcleo de miocito adyacente (N), rodeado de mitocondrias (*). Espacio intercelular aumentado (*). Túbulos T (→) que parten de la membrana del miocito. V21. 12000x.

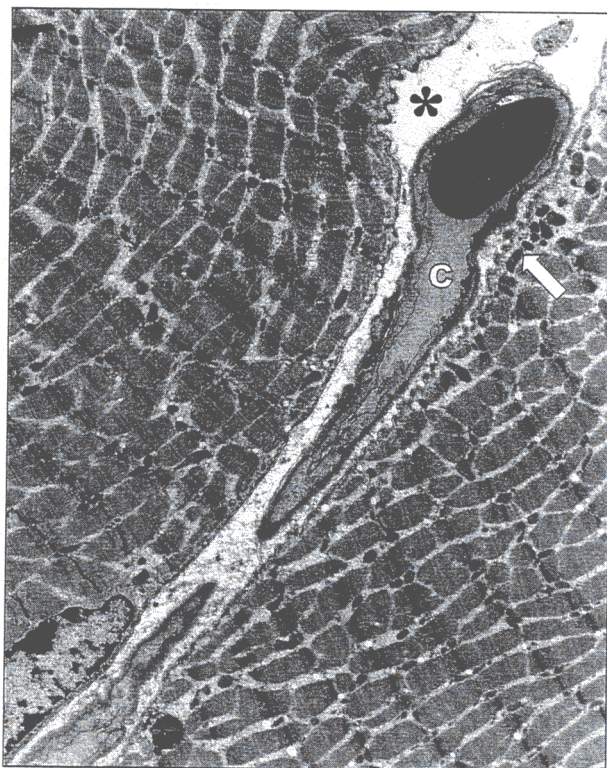


Figura 78.- Espacio intercelular en la zona media de dos miocitos. Retracción de uno de ellos (*) para alojar el capilar (C) algo dilatado. V21. 2000x.

11.4.- VARIACIONES EN LOS ATLETAS DE VELOCIDAD. GRUPO V25.

En el grupo de corredores de distancias cortas que llevan más años practicando esta modalidad deportiva, se encuentran masas musculares de mayor tamaño que en todos los demás, por lo tanto deben presentar variaciones en cuanto a crecimiento en sus dos vertientes, longitudinal y transversal, como reflejo de esta actividad, y continuación de los que hemos descrito en el apartado anterior.

Sus extremos de crecimiento longitudinal siguen siendo muy activos (Figuras 79 80 A y B y 81), en contra de lo que sucedía en el grupo equivalente dedicado a deporte de resistencia. Las membranas celulares en esta localización parecen bien definidas, cuando no hay núcleos en el vértice (Figura 79 →), incluso ligeramente engrosadas en el extremo libre. Pero a mayores aumentos, (Figura 82), no se puede seguir todo el trayecto de la membrana, que parece perderse entre los filamentos de su microambiente (Figura 82 →).

Los núcleos de los miocitos que encontramos en esta localización, siguen presentando la misma morfología y distribución que en el caso anterior, globulosos, con predominio de eucromatina y nucleolos llamativos, que les dan aspecto de células mioblásticas (Figuras 79 N y 81 N). En ocasiones aparecen varios alineados en el borde lateral de estas zonas, incluso alternando con células satélites de aspecto normal, recordando morfología de etapas embrionarias (Figura 80 A y B).

Las miofibrillas de esta porción distal de la fibra muscular, están separadas por bandas de mitocondrias alineadas (Figura 79 *), que recuerdan la disposición del condrioma en las células más abundantes de los atletas de resistencia, pero esta presentación va desapareciendo al acercarse a la zona más ancha de la célula.

En el tejido conjuntivo adyacente a estos extremos, encontramos mayor densidad de sustancia intercelular y los capilares presentan formas abigarradas (Figuras 79 C y 81 C), a veces se aprecia deformación en ellos por presión de las células musculares. Encontramos imágenes sugerentes de apoptosis en células endoteliales, fibroblastos o células linfoides extravasadas, pero en mucha menor proporción que en el grupo equivalente de resistencia.

En los cortes de la porción más ancha de la célula muscular, que corresponden al grupo V25, las fibras alcanzan las mayores dimensiones que hemos detectado, tanto en corte transversal como longitudinal. En estos últimos, las más abundantes son fibras

con haces paralelos, muy ordenados y estables de miofibrillas, sin que se estime el alto número de roturas que en el grupo anterior (Figuras 83, 84, 88 y 90). El grosor de estas miofibrillas es variable dentro de la misma célula, pero no se aprecian inserciones de miofilamentos forzados en las zonas periféricas de las líneas Z. Las roturas que aparecen no se producen por excisión de esta zona en pequeñas fracciones, sino que se altera una de las dos caras de inserción de los filamentos de actina, apareciendo granos de diferente densidad electrónica, como los que habíamos visto en el caso anterior (Figura 85 *).

En las zonas próximas al sarcolema, las miofibrillas se van interrumpiendo escalonadamente (Figura 89 *), sin dar la impresión de que terminen ancladas en ningún sitio, sino libres en el citoplasma a distintos niveles, pero en las zonas de mayor aproximación a la membrana, presenta en su cara interna, unos gránulos muy electrodensos (Figura 89 →), que encontramos también cerca de las proximidades de las líneas Z, así como haces paralelos de miofilamentos.

El RS presenta una distribución igual a la de los velocistas del grupo anterior, pero con cisternas algo más dilatadas. En los cortes longitudinales predominan en las zonas de unión A-I (Figuras 83 → y 84 →) y pueden verse además en las zonas de rotura de la línea Z (Figura 85 →). Al corte transversal, aparecen abundantemente rodeando la figura transversal de los paquetes de miofibrillas, sobre todo en los vértices de estos polígonos (Figura 86 →). Los sacos del retículo atraen mucho más la atención a simple vista, pero los túbulos T, mucho más estrechos, se distinguen con dificultad y por supuesto, no en todos los cortes.

Las mitocondrias son pequeñas y escasas, cercanas a las membranas del RS y por lo tanto con localización intermiofibrilar predominante (Figuras 83 M y 84 M y 86 M). Esporádicamente aparece alguna de mayor tamaño y aumentan en número ligeramente en las zonas de rotura fibrilar. No se encuentran normalmente en localización subsarcolémica y las perinucleares son mayores y más numerosas que en el grupo control, y en el anterior grupo de deportistas de velocidad, cuando el núcleo tiene aspecto globuloso (Figura 88 B M), pero desaparecen casi totalmente en las proximidades de los núcleos más condensado (Figura 88 A).

La reserva energética que tiene como base el glucógeno, se hace muy patente en algunas de estas fibras, con un punteado muy electrodenso entre los haces de miofibrillas, pero sin formar grandes rosetas (Figura 84). Las gotas lipídicas son muy escasas (Figura 88 L), presentándose a veces en las zonas perinucleares.

Los núcleos en esta localización, tienen un aspecto muy abigarrado, con tendencia a presentar indentaciones, que aumentan de forma llamativa en cuanto la células se empieza a contraer (Figura 88 A). La distribución de la cromatina es la típica de las células musculares poco activas, con heterocromatina periférica y poca eucromatina central. En pocas ocasiones pueden verse nucleolos. Su localización no hace protusión en la membrana de la célula, apareciendo a veces bajo la primera hilera de miofibrillas. Sus poros nucleares siguen siendo numerosos y aparentemente permeables.

Las células satélite son escasas y se presentan en disposición similar a las de las muestras de los sujetos control, en las proximidades de los mionúcleos y alineadas con ellos, es decir, sin sobresalir de la superficie de la célula, ocupando una excavación (Figura 87 CS). Las caras laterales de ambas células presentan unas membranas extremadamente próximas en todo su trayecto (Figura 87→).

El tejido conjuntivo en estas zonas alejadas de los extremos de crecimiento longitudinal, tiene un calibre menor que en el grupo control, pero en general no parece estar afectado por fenómenos de compresión. Los capilares presentan un endotelio de calibre variable, desde paredes finas (Figura 90 C), hasta otras más gruesas y rodeadas por una capa de material fibrilar más densa que en el estadio anterior (Figuras 88 B C y 89 C). Las imágenes de pinocitosis son escasas y los núcleos muestran a veces condensación de cromatina de forma periférica muy uniforme, que sugiere las imágenes de una programación para apoptosis (Figura 89 E). Los fibroblastos son la población celular más abundante en este tejido, con citoplasma muy estrecho y rico en organelas.

Junto a estas células, aparecen otras más escasas y que ya hemos descrito en los apartados anteriores, por lo que deducimos, comparando el tipo de forma celular predominante en cada caso, entre sí y con los controles, que el tipo de ejercicio influye en la morfología y proporción de unas y otras células, dependiendo también del tiempo de dedicación al deporte elegido.

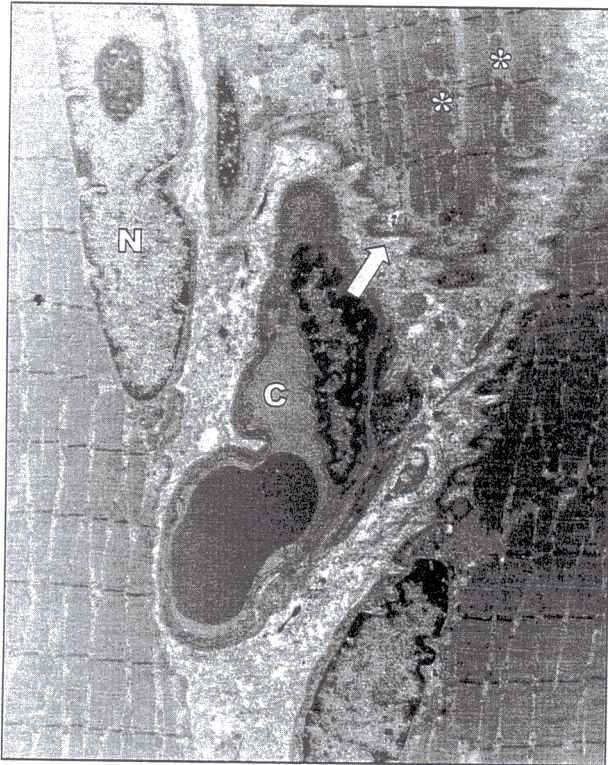


Figura 79.- Crecimiento longitudinal con terminación libre de miofibrillas y mitocondrias interpuestas (*). Membrana celular manifiesta (→). Núcleos de miocitos próximos (N). Conjuntivo rico en matriz intercelular (C). V25. 2500x.

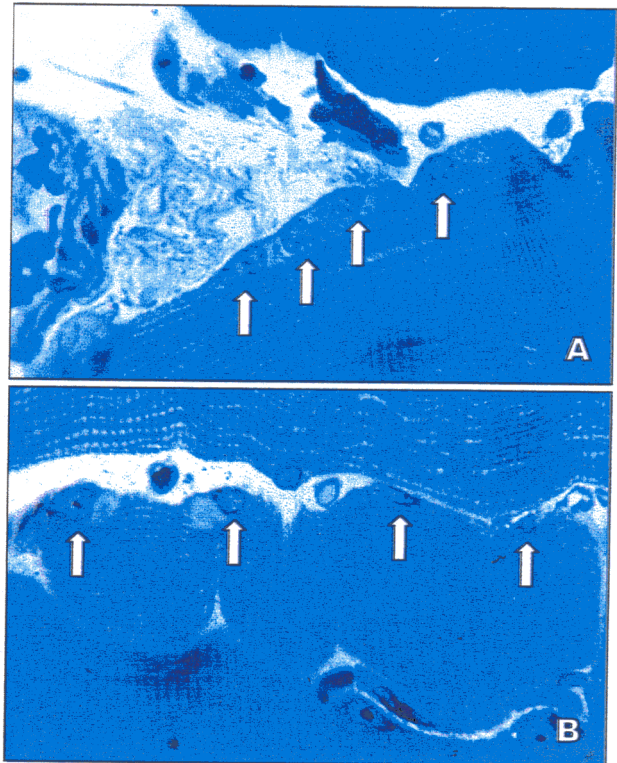


Figura 80 A y B.- Extremos de crecimiento longitudinal con llamativas alineaciones nucleares (→). Conjuntivo rico en fibras. V25. Cortes semifinos. 400x.

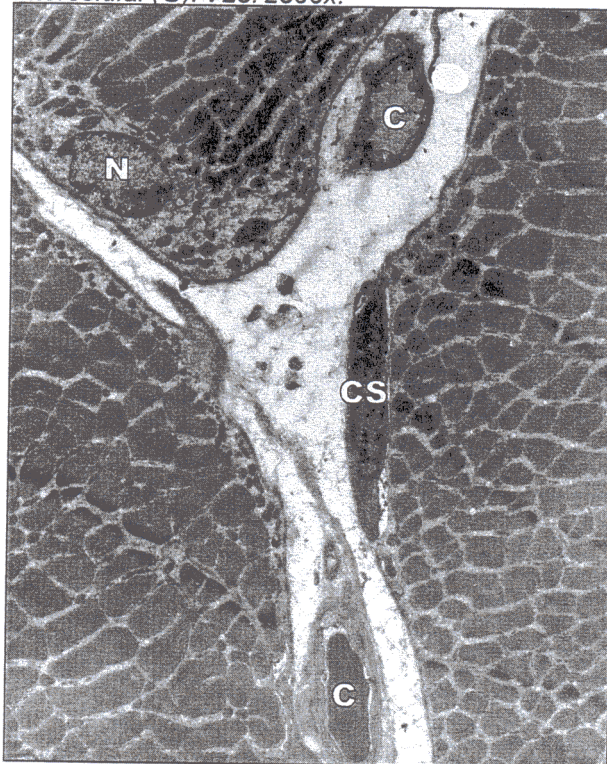


Figura 81.- Extremo de crecimiento con núcleo terminal (N) y mitocondrias perinucleares. Célula satélite en fibra contigua (CS). Conjuntivo rico en vasos (C). V25. 2000x.

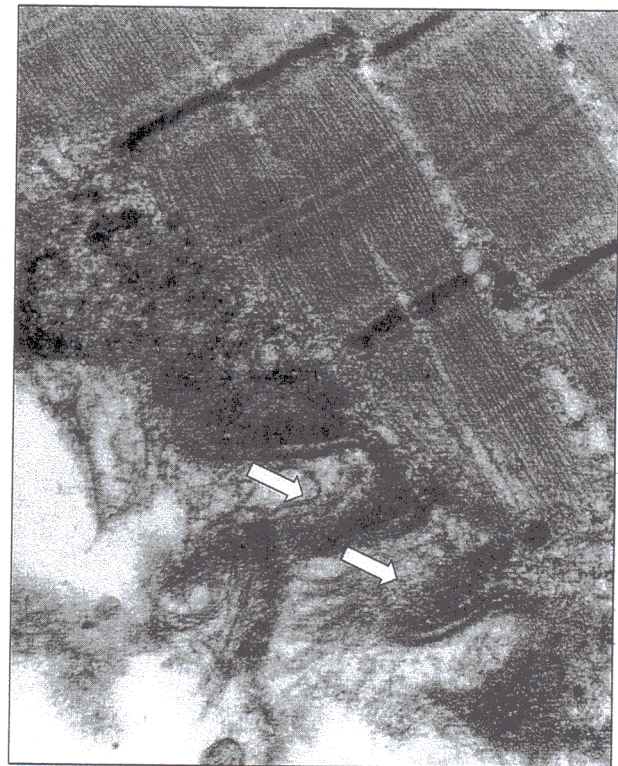


Figura 82.- Aspecto desflechado del sarcoplasma en la zona de crecimiento longitudinal. V25. 10000x.

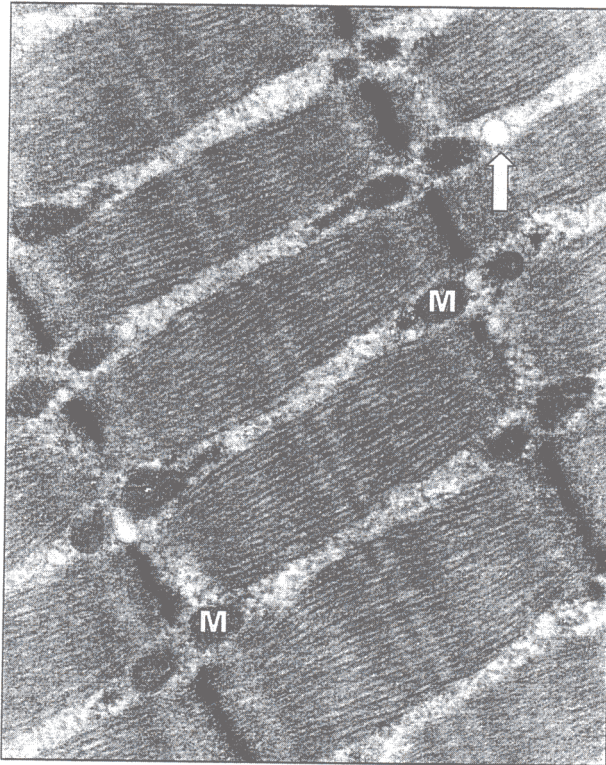


Figura 83.- Corte longitudinal de sarcoplasma, con ordenación geométrica de sus miofibrillas. Sarcómeros alineados y sin roturas. Entre ellas mitocondrias (**M**) y alguna cisterna de RS (→). V25. 14000x.

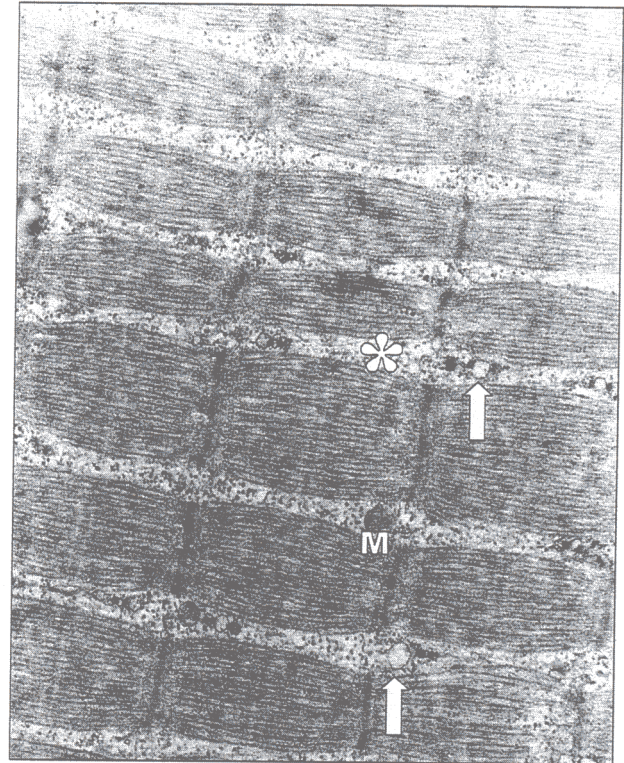


Figura 84.- Aspecto ordenado de miofibrillas en una célula muscular, con gran cantidad de glucógeno entre ellas (*). Pequeñas mitocondrias (**M**) y alguna cisterna de RS (→). V25. 8000x.

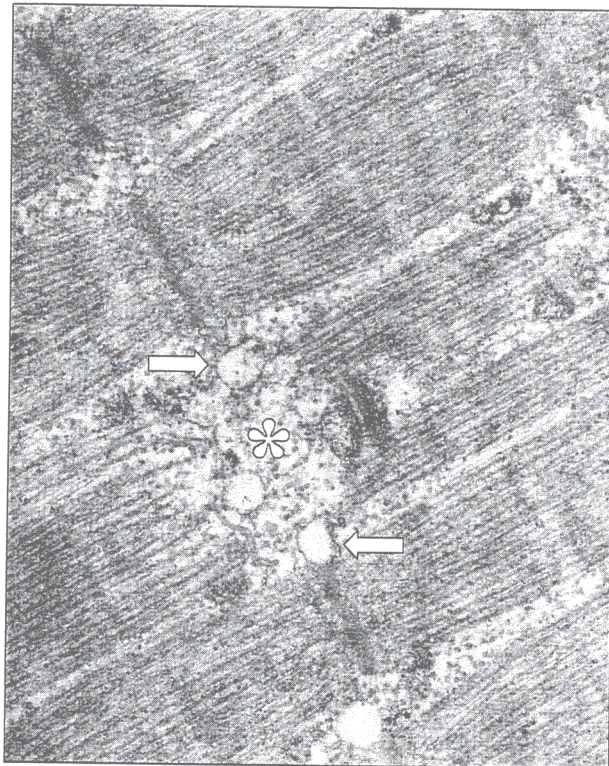


Figura 85.- Zona de rotura de la línea Z (*), con organelas celulares interpuestas (RS →). Aspecto normal en el resto de la sarcómera. V25. 14000x.

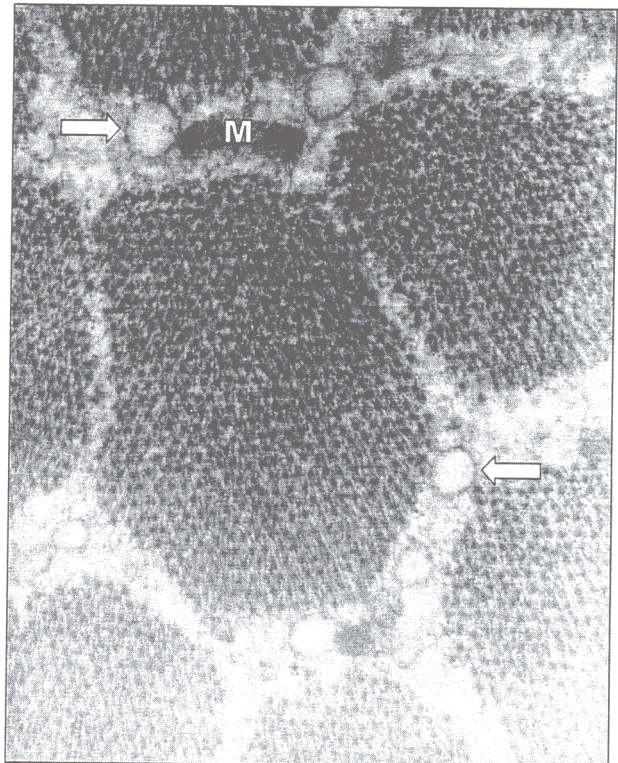


Figura 86.- Corte transversal de una célula muscular con un paquete de miofibrillas rodeado por cisternas de RS (→) y alguna mitocondria de pequeño tamaño (**M**). V25. 35000x.

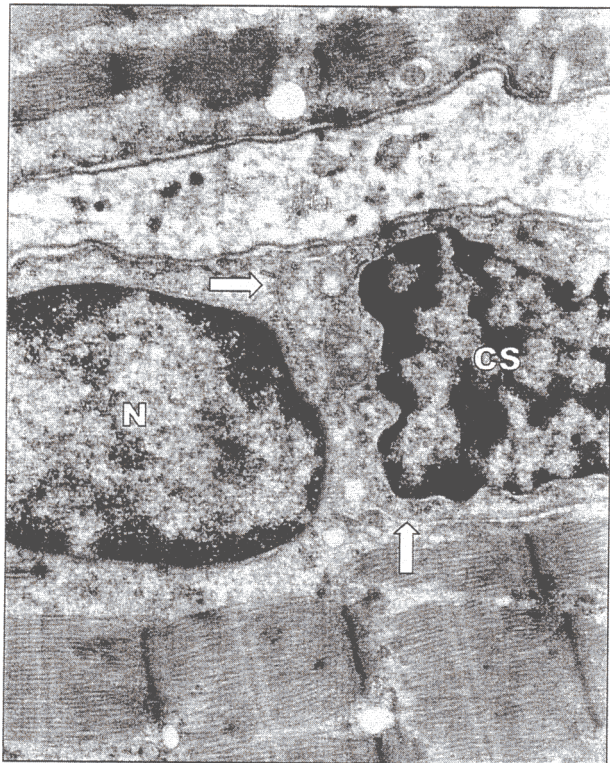


Figura 87.- Núcleos contiguos de célula satélite (CS) y miocito (N). Lámina basal externa común y separación entre las dos membranas celulares (→). V25. 8000x.

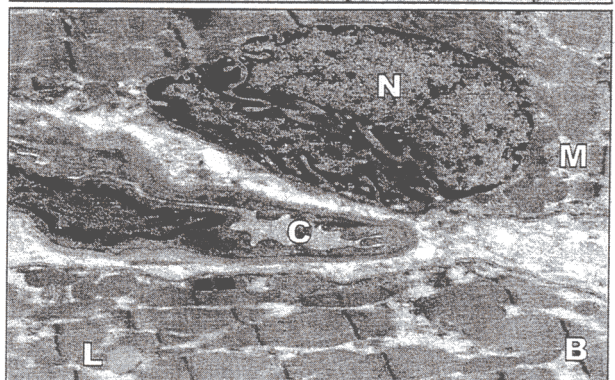
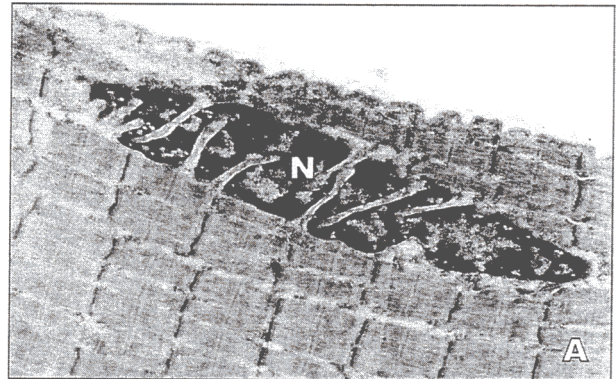


Figura 88.- Núcleos de miocitos (N). A.- Maduro, plegado por la contracción y heterocromático. B.- Mixto, con zona plegada y otra globulosa y eucromática. Mitochondrias perinucleares (M). V25. 3000x.

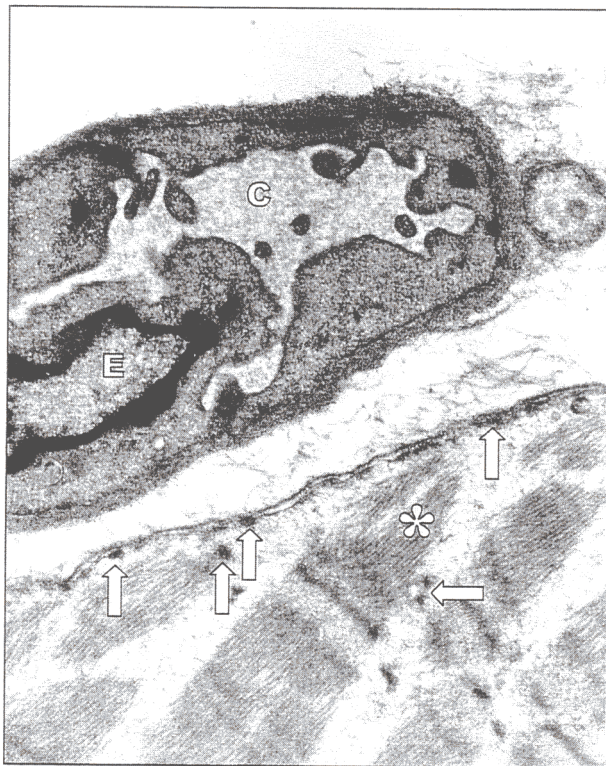


Figura 89.- Zona lateral de un miocito, con terminación libre de miofibrillas (*). Condensaciones electrodensas próximas a la membrana (→). Endotelio ancho con núcleo de aspecto apoptótico (E). V25. 8000x.



Figura 90.- Porción media del borde de los miocitos. Núcleo eucromático (N) en las proximidades de un capilar de aspecto normal (C) y un linfocito extravasado (L). V25. 3000x.

12.- ESTUDIO CUANTITATIVO DE LAS VARIACIONES QUE PRESENTA EL MÚSCULO ESQUELÉTICO SEGÚN LA ACTIVIDAD DEPORTIVA.

Un total de 5200 muestras en 1040 cortes transversales de músculo esquelético, correspondientes al vasto lateral externo de hombres sedentarios y deportistas, entre 18 y 25 años, fueron estudiadas para establecer el porcentaje de cada tipo de fibras y la variación en función de su actividad, según lo expuesto en el protocolo experimental. (Figura 34).

El hecho de disponer de un tamaño de muestra considerable, nos facilita el establecimiento de una subdivisión en grupos, atendiendo al tipo de deporte practicado y al período de tiempo dedicado a él. Esta separación en grupos nos permite un mejor tratamiento estadístico y, en consecuencia obtener unos resultados rigurosos.

La subdivisión de las muestras hace tomando como base, si los cortes analizados en cada caso, corresponden músculo de sujetos del grupo control (C18, C21 y C25), del grupo de deportistas de resistencia (R21 y R25) o del grupo de deportistas de velocidad (V21 y V25). Para sistematizar este trabajo, se han estudiado unas variables que figuran en los objetivos propuestos:

- Porcentajes de los diferentes tipos de fibras.
- Medida del área de corte transversal en los distintos tipos de fibras.
- Volumen mitocondrial en relación al volumen total de la fibra.
- Número de capilares por mm² de superficie muscular.

Para ello ha sido necesario aplicar las técnicas descritas en el apartado correspondiente de metodología: microscopía electrónica, determinaciones enzimáticas por métodos histoquímicos, sistemas informatizados de análisis de imagen, así como técnicas histológicas convencionales. Los datos obtenidos, nos han permitido llevar a cabo el análisis de cada variable, comenzando por las fibras tipo I, comparándolas sucesivamente con todas las fibras homólogas a lo largo de los grupos planteados en el protocolo, continuando posteriormente con la fibras tipo IIa, IIb y IIc, o bien atendiendo solamente a las diferentes muestras poblacionales.

12.1.- VARIACIONES EN PORCENTAJE DE LOS DISTINTOS TIPOS DE FIBRAS MUSCULARES.

Este subgrupo se ha definido mediante las técnicas de histoquímica, precisas para cada tipo de fibra, que nos han permitido realizar el estudio del porcentaje de los

distintos tipos, que componen el tejido muscular de los diferentes grupos analizados. Para sistematizar el estudio hemos comenzado por el análisis de las fibras tipo I y hemos comparado dicho volumen con el de todas las fibras homólogas a los largo de los grupos del protocolo propuesto (C21, C25, R21, R25, V21 y V25). Continuando posteriormente con las fibras tipo IIa, IIb y IIc sucesivamente.

12.1.1.- Fibras tipo I.

Considerando el porcentaje de fibras tipo I de las distintas muestras poblacionales, que corresponden a los diferentes grupos control, C18, C21 y C25, comprobamos que no presentan entre ellas una diferencia significativa (C18-I $m=46.9\pm5.9$, C21-I $m=47.1\pm6.2$ y C25-I $m=46.9\pm5.9$). Por lo tanto, al hacer la comparación con los grupos de población deportiva, podemos considerarla como un muestra única, o comparar cada grupo con los correspondientes de la misma edad. (C18=C21=C25). (Figuras 91 y 113).

Sin embargo, cuando cotejamos los porcentajes de fibras tipo I de estos grupos controles, con los restantes grupos de atletas tanto de resistencia (R21 y R25) como de velocidad (V21 y V25), comprobamos que la diferencia que presentan sí es significativa, por lo que debemos cuantificarla convenientemente.

Cuando la comparación se efectúa entre el porcentaje de fibras tipo I del grupo control (C18, C21 y C25) y de los atletas de resistencia (R21 y R25), vemos que este último grupo arroja un aumento del 26% a partir de los tres años de práctica deportiva, y sigue aumentando progresivamente hasta llegar en R25, a un 35% más que en el grupo de población sedentaria. (R21>C21 y R25>C25). (Figuras 92 y 113).

De la valoración comparativa de estos mismos grupos controles (C18, C21 y C25) con los dedicados a deporte de velocidad (V21 y V25), y en relación al tipo I de fibras musculares, vemos que también existe una diferencia significativa, pero en este caso de signo negativo a la anterior, es decir, cuanto mayor es el tiempo de practica del deporte, menor es el porcentaje de este tipo de fibras, de manera que se puede cuantificar en una disminución sería del 25% para los V21 y de un 38% en relación con los V25. (V21>C21 y V25>C25). (Figuras 93 y 113).

Como es lógico, a la vista de los datos anteriores, la diferencia entre los porcentajes de fibras tipo I, de los atletas de resistencia (R21 y R24) y los de velocidad (V21 y V25), debe haber una gran diferencia, y así comprobamos que a los tres años de inicio de ambas modalidades deportivas, la diferencia es de un 68% para R21 sobre

V21, y sigue aumentando hasta el 116%, siempre a favor del grupo de resistencia (R21>>V21 y R25>>V25). (Figuras 106 y 113).

Si ahora estudiamos cómo varía la cantidad de fibras tipo I, en cada una de estas modalidades deportivas, comprobamos que entre los atletas de resistencia existe un aumento del 7% a favor de los que lleva más tiempo practicado el ciclismo (R21-I $m=59.1\pm5.7$ y R25-I $m=63.3\pm4.5$). Así, aunque el incremento más llamativo tiene lugar en los primeros años, el proceso sigue avanzando lentamente durante todo el tiempo que estamos valorando. (R25>R21). (Figuras 107 y 113).

Cuando el grupo estudiado es el de velocistas (V21 y V25), obtenemos unos resultados que difieren en signo con los anteriores, ya que en esta ocasión hay una disminución de 17% de fibras tipo I, para el grupo que lleva más tiempo dedicado a esta modalidad deportiva (V21-I $m=35.2\pm5.7$ y V25 $m=29.3\pm5.7$). (V21>V25). (Figuras 108 y 113).

12.1.2.- Fibras tipo IIa.

Respecto al tipo de fibras IIa de los distintos grupos tanto controles (C18, C21 y C25), como deportistas (R21, V21, R25 y V25), también se encuentran diferencias, que afectan en distinto grado al músculo esquelético, en función de las necesidades que impone cada tipo de deporte y hemos encontrados las siguientes variaciones.

Si estudiamos el porcentaje de fibras tipo IIa dentro del grupo control, vemos que entre ellos no existe diferencia (C18-IIa $m=34.4\pm6.0$, C21-IIa $m=32.8\pm5.7$ y C25-IIa $m=34.1\pm5.4$), por lo cual podríamos reunirlos en un mismo grupo control (C18-C21-C25) para su examen y valoración con los otros grupos de deportistas, pero pequeñas variaciones podrían hacer cambiar un resultado, prefiriendo su estudio por separado. (C18=C21=C25). (Figuras 95 y 114).

De la comparación del tanto por ciento de fibras tipo IIa, del grupo control con los grupos R21 y R25, se desprende la existencia de una disminución muy apreciable en el porcentaje de dichas fibras. Esta disminución es mayor, cuanto mayor es el tiempo transcurrido en la practica del deporte. Su cuantía podemos cifrada en un 26% y 36% respectivamente, para los grupos de tres y siete años de entrenamiento. (C21>R21 y C25>R25). (Figuras 96 y 114).

En este nuevo paso, el porcentaje de fibras tipo IIa del grupo control, lo confrontamos con el mismo tipo de fibras de los grupos de velocidad (V21 y V25),

encontrando un aumento que se manifiesta a favor de los velocistas y además lo hace dependiendo también del tiempo transcurrido desde el inicio de la dedicación al ejercicio. Así, existe una diferencia de un 19% a favor de V21 y un 31% para V25. ($V21 > C21$ y $V25 > C25$). (Figuras 97 y 114).

Cuando comparamos y analizamos los distintos tantos por cientos del tipo de fibras IIa entre los grupos de resistencia y los grupos de velocidad, vemos que existe una marcada diferencia positiva a favor de los velocistas, que es de un 60% a los tres años y sigue en aumento de forma manifiesta hasta un 105%, a los siete años. ($V21 > R21$ y $V25 > R25$). (Figuras 98 y 114).

Si el estudio lo efectuamos comparando los porcentajes de este mismo tipo de fibras, dentro de los grupos formados por atletas de resistencia (R21 y R25), podemos constatar la existencia de una diferencia significativa, con disminución según va aumentando el tiempo. Esta diferencia es de un 14% ($R21-IIa\ m=25.1 \pm 5.3$ y $R25-IIa\ m=21.6 \pm 3.1$), es decir, en este último momento la velocidad de disminución numérica es aproximadamente la mitad que en los tres primeros años de práctica deportiva. ($R21 > R25$). (Figuras 107 y 114).

Una situación inversa nos encontramos enfrentamos a los atletas de velocidad entre sí. En este caso, se aprecia un incremento del 10% a favor del grupo de más edad, ($V21-IIa\ m=40.1 \pm 4.8$ y $V25-IIa\ m=44.2 \pm 4.6$), siendo además el grupo que alcanza un mayor valor absoluto en este tipo de fibras. ($V25 > V21$). (Figuras 108 y 114).

12.1.3.- Fibras tipo IIb.

Prosiguiendo con el análisis del tipo de fibras, nos adentramos en la comparación de las variaciones que sufren las IIb, que junto con el grupo anterior, constituyen la población de fibras de contracción rápida del músculo. Como en todos los casos, debemos llevarlo a cabo, tanto en las muestras de los controles (C18, C21 y C25), como en las de los diferentes grupos de resistencia y de velocidad (R21, R25, V21 y V25).

En el estudio de los diferentes grupos control, vemos que el porcentaje de fibras tipo IIb, no presenta una diferencia estadísticamente significativa ($C18-IIb\ m=18.0 \pm 7.4$, $C21-IIb\ m=19.3 \pm 6.7$ y $C25-IIb\ m=19.3 \pm 10.0$), hecho que ya era de esperar, dado que en los resultados anteriores, que conforman la gran mayoría, ninguna significación se ha hecho patente. ($C18=C21=C25$). (Figuras 99 y 115).

Siguiendo el estudio comparativo de las fibras tipo IIb de los grupos controles (C18, C21 y C25), en relación con el mismo tipo de fibras de los atletas de resistencia (R21 y R25), encontramos que a medida que transcurre el tiempo dedicado a la práctica deportiva, disminuye este tipo de fibra y así apreciamos con una diferencia del 29% y 35% cuando comparamos la muestra control con la R21 y la R25 respectivamente. ($R21 < C21$ y $R25 < C25$). (Figuras 100 y 115).

Cuando la muestra enfrentada es la población control y la muestra de velocistas (V21 y V25), vemos que para el tipo de este tipo de fibras, tiene lugar el fenómeno contrario que en los de resistencia, aumentando progresivamente con el paso del tiempo, para llegar en el primer estadio a un 20% más que en el control y un 36% a los siete años de entrenamiento. ($V21 > C21$ y $V25 > C25$). (Figuras 101 y 115).

Así mismo cuando las muestras comparadas son las de resistencia, con las de los velocistas para el tipo de fibras IIb, se comprueba que presentan una diferencia positiva a favor de los velocistas, en relación con los atletas de resistencia, que si lo valoramos con respecto al tiempo de realización del ejercicio, vemos que se va incrementando paulatinamente. Dicha diferencia es de un 67% y 111% si las comparamos a los tres años o a los siete años ($V21 > R21$ y $V25 > R25$). (Figuras 102 y 115).

Respecto al estudio comparativo de los grupos de resistencia entre sí (R21 y R25) y en lo que compete a las fibras del tipo IIb nos encontramos con el curioso hecho de que no hay diferencia significativa entre ambos porcentajes de fibras ($R21-IIb m=13.5 \pm 6.9$ y $R25-IIb m=12.3 \pm 4.8$). ($R21 = R25$). (Figuras 107 y 115).

Cuando la comparación la efectuamos entre las atletas de velocidad, comprobamos que existe un aumento de un 15% ($V21-IIb m=22.6 \pm 8.0$ y $V25-IIb m=26.0 \pm 7.3$), en el transcurso de los últimos cuatro años de práctica deportiva ($V21 < V25$). En este caso parece que el aumento se mantiene bastante alto durante todo el proceso. ($V21 < V25$). (Figuras 108 y 115).

12.1.4.- Fibras IIc.

Por último y en relación al estudio efectuado sobre las variaciones de porcentaje de fibras tipo IIc entre todos los grupos estudiados (C18, C21, C25, R21, V21, R25 y V25), vemos que son las fibras menos numerosas en valor absoluto, encontrando los siguientes resultados.

Al comparar entre sí las muestras control (C18, C21 y C25), y aplicando el análisis estadístico, vemos que para este tipo de fibras tampoco existen diferencias (C18 $m=0.9\pm0.5$, C21 $m=0.8\pm0.5$ y C25 $m=0.8\pm0.5$). Como en casos anteriores, aunque puede considerarse globalmente en las comparaciones sucesivas, preferimos hacerlo independientemente. (C18=C21=C25). (Figuras 103 y 116).

Cuando se confrontaron los grupos controles (C18, C21 y C25), con los grupos de atletas de resistencia (R21 y R25), se constató que el tipo de fibras IIc iba en incremento en relación con el tiempo de dedicación al deporte. La diferencia oscilaba entre un 140% para los ciclistas más jóvenes y un 225% para los que llevan alrededor de siete años de entrenamiento. (R21>>C21 y R25>>C25). (Figuras 104 y 116).

Ya en el grupo de los velocistas (V21 y V25) estas diferencias cuando se comparan con el grupo control, arrojan unos resultados que difieren de los anteriores, puesto que en vez de aumentar, disminuyen significativamente según se van alargando los tiempos de dedicación al deporte, y así, esta disminución es del 16% y 28% respectivamente según hayan transcurrido tres o seis años. (V21<C21 y V25<C25). (Figuras 105 y 116).

Cuando la medición se efectuó para comparar los porcentajes de las fibras tipo IIc que existían entre los grupos de resistencia (R21 y R25) y los velocistas (V21 y V25), observamos que también presentaban una marcada diferencia y que ésta se incrementaba con el paso del tiempo. Entre los velocistas y los de resistencia que llevaban ya tres años de entrenamiento, la diferencia ascendía a un 65% y hasta un 78% cuando comparábamos las muestras a los siete años. (R21>>V21 y R25>>R21). (Figuras 106 y 116).

Por último la comparación del tanto por ciento de las fibras tipo IIc, entre los atletas de resistencia (R21 y R25), arrojó el resultado de un incremento positivo con relación al tiempo de práctica deportiva del 35% (R21-IIc $m=2.0\pm0.7$ y R25-IIc $m=2.7\pm1.4$). (R25>R21). (Figuras 107 y 116).

El mismo planteamiento del apartado anterior, efectuado entre los grupos de velocistas, mostró un incremento negativo, en el mismo período de tiempo (V21-IIc $m=0.7\pm0.4$ y V25-IIc $m=0.6\pm0.3$), de forma que en este último estadio presenta el menor número, en valor absoluto, de todos los tipos de fibras. (V25>V21). (Figuras 108 y 116).

Todos estos resultados, quedan recogidos de forma abreviada para su valoración en conjunto, en las figuras 109, 110, 111 y 112, y en la tabla XIII.

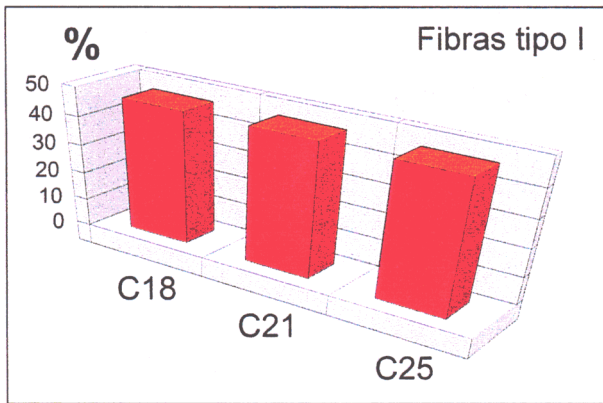


Figura 91.- Representación comparativa porcentual de las muestras de los distintos grupos controles. Fibras tipo I. C18, C21 y C25.

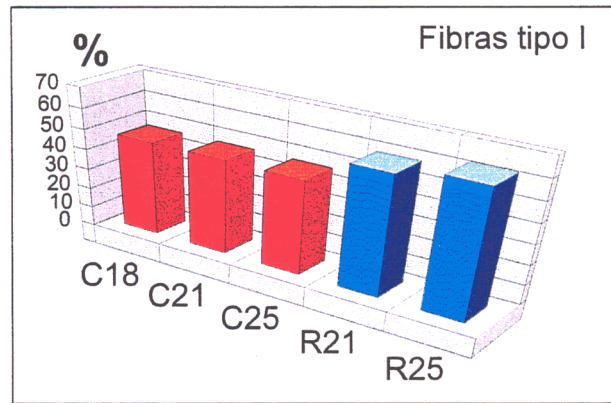


Figura 92.- Representación comparativa porcentual entre los grupos control y de resistencia. Fibras tipo I. C18, C21, C25, R21 y R25.

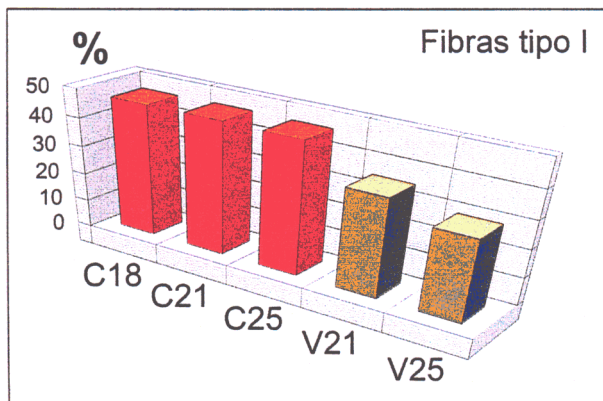


Figura 93.- Representación comparativa porcentual entre los grupos control y los de velocidad. Fibras tipo I. C18, C21, C25, V21 y V25.

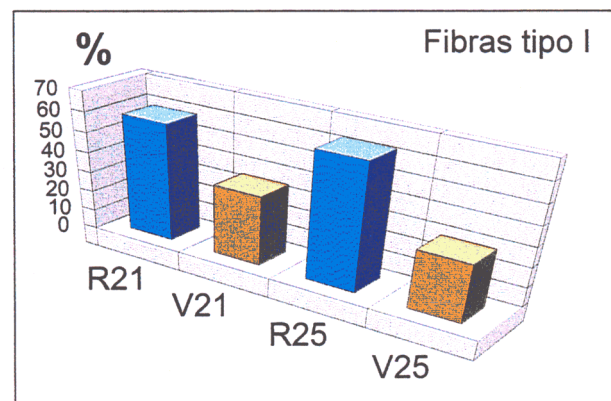


Figura 94.- Representación comparativa porcentual entre los grupos de resistencia y de velocidad. Fibras tipo I. R21, V21, R25 y V25.

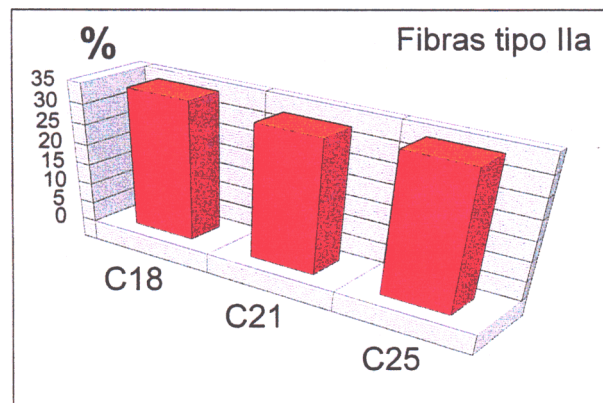


Figura 95.- Representación comparativa porcentual de las muestras de los distintos grupos controles. Fibras tipo IIa. C18, C21 y C25.

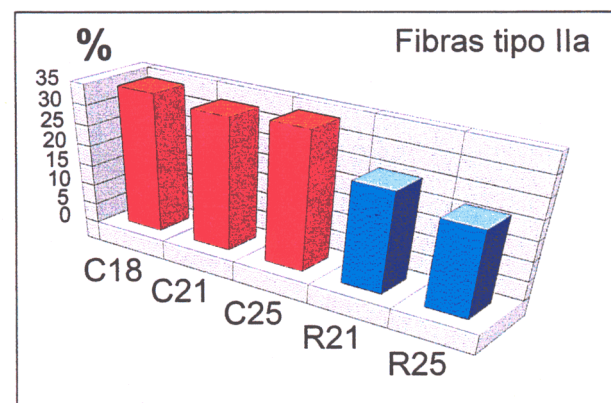


Figura 96.- Representación comparativa porcentual entre los grupos control y de resistencia. Fibras tipo IIa. C18, C21, C25, R21 y R25.

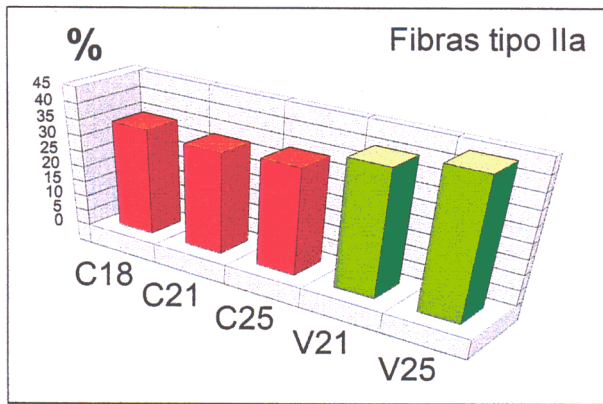


Figura 97.- Representación comparativa porcentual entre los grupos control y los de velocidad. Fibras tipo IIa. C18, C21, C25, V21 y V25.

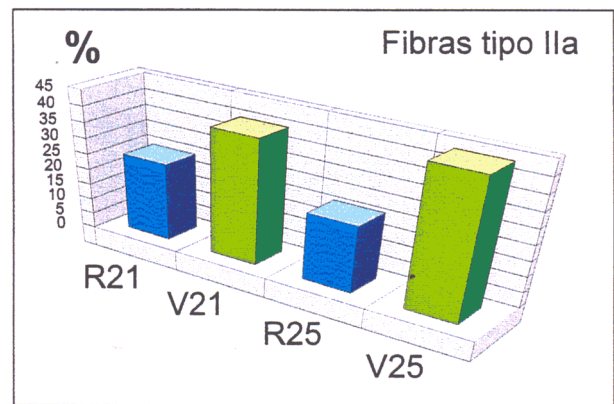


Figura 98.- Representación comparativa porcentual entre los grupos de resistencia y los de velocidad. Fibras tipo IIa. R21, V21, R25 y V25.

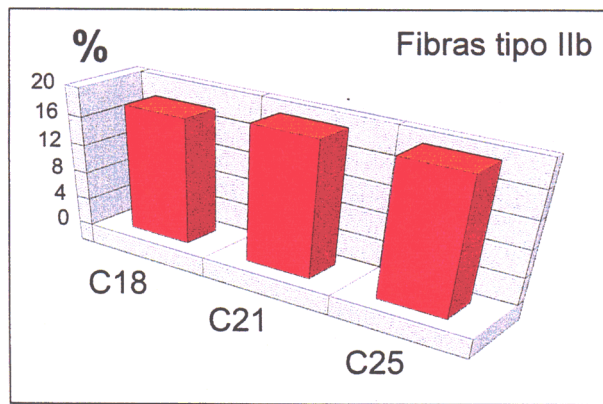


Figura 99.- Representación comparativa porcentual de las muestras de los distintos grupos controles. Fibras tipo IIb. C18, C21 y C25.

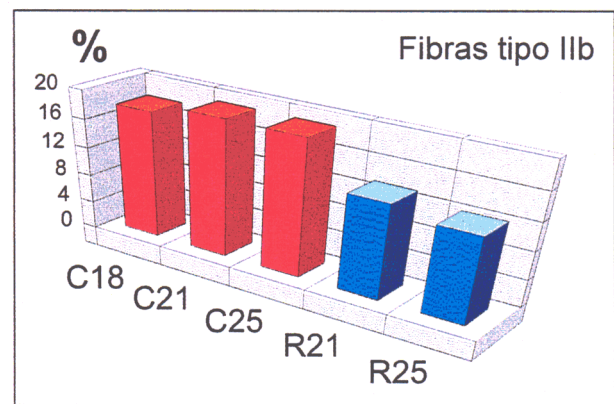


Figura 100.- Representación comparativa porcentual entre los grupos control y los de resistencia. Fibras tipo IIb. C18, C21, C25, R21 y R25.

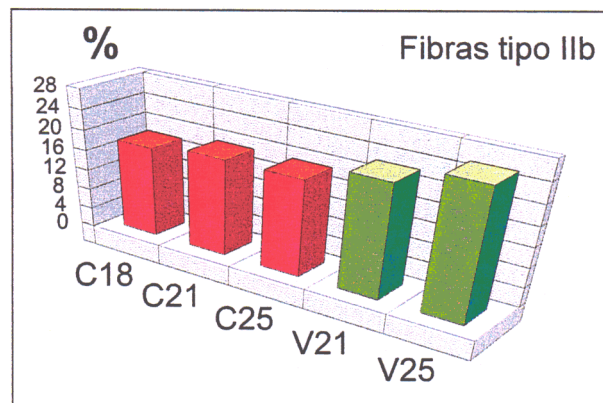


Figura 101.- Representación comparativa porcentual entre los grupos control y los de velocidad. Fibras tipo IIb. C18, C21, C25, V21 y V25.

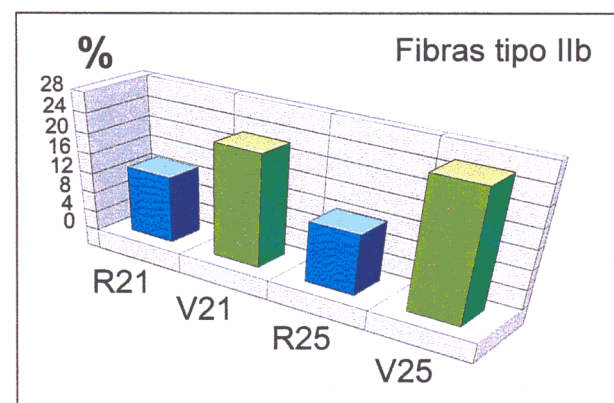


Figura 102.- Representación comparativa porcentual entre los grupos de resistencia y los de velocidad. Fibras tipo IIb. R21, V21, R25 y V25.

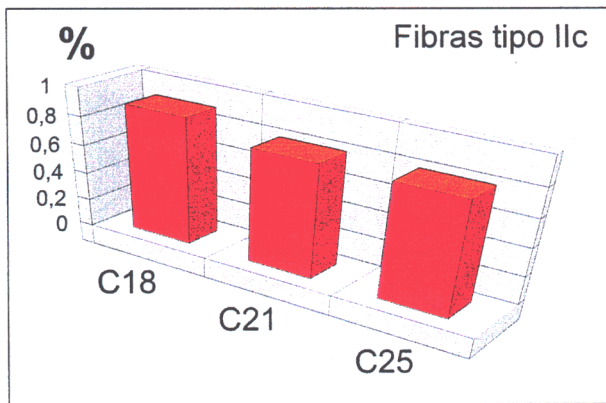


Figura 103.- Representación comparativa porcentual de las muestras de los distintos grupos controles. Fibras tipo Ilc. C18, C21 y C25.

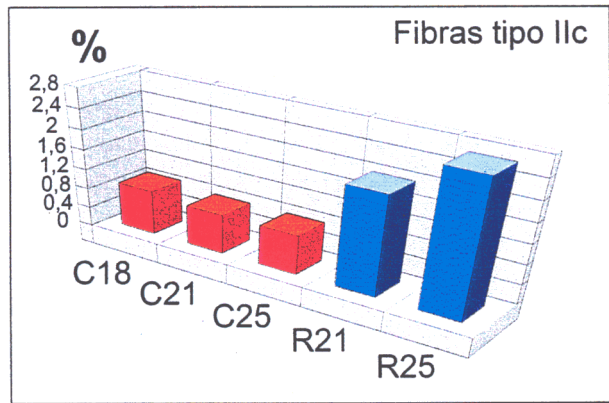


Figura 104.- Representación comparativa porcentual entre los grupos control y los resistencia. Fibras tipo Ilc. C18, C21, C25, R21 y R25.

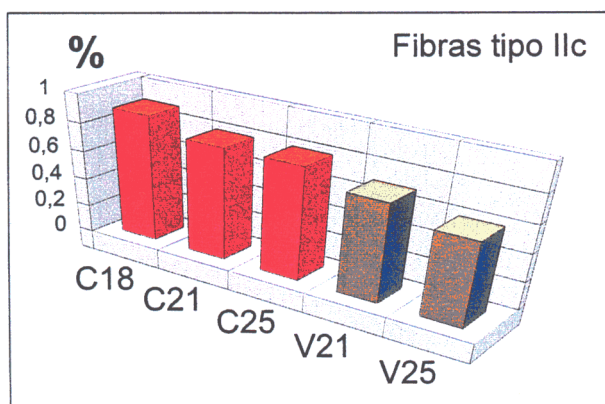


Figura 105.- Representación comparativa porcentual entre los grupos control y los de velocidad. Fibras tipo Ilc. C18, C21, C25, V21 y V25.

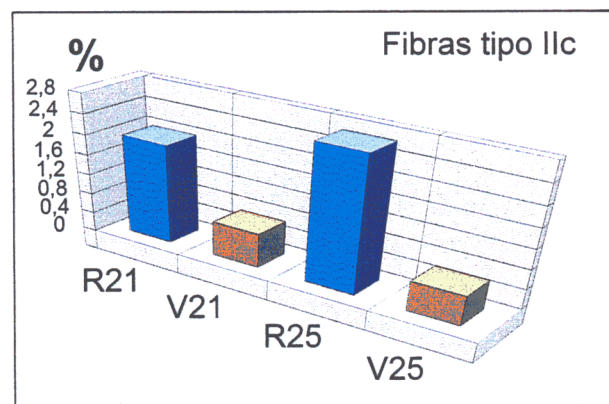


Figura 106.- Representación comparativa porcentual entre los grupos de resistencia y de velocidad. Fibras tipo Ilc. R21, V21, R25 y V25.

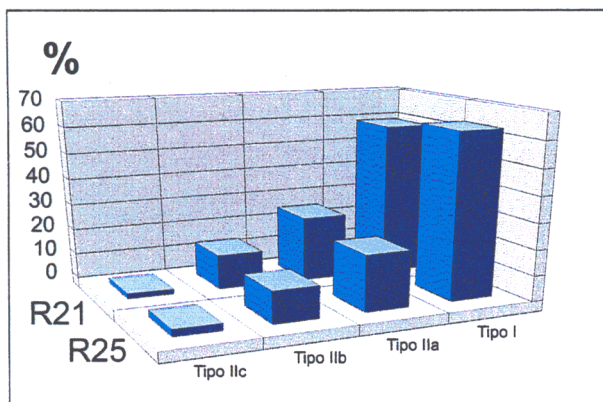


Figura 107.- Representación comparativa porcentual entre los grupos de resistencia en función del tipo de fibra. Fibras tipo I, Ila, Ilb y Ilc. R21 y R25.

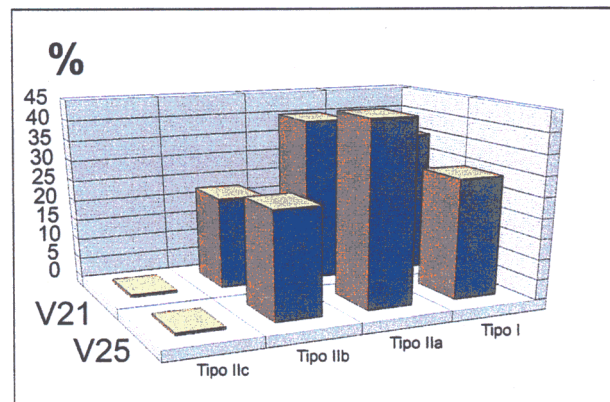


Figura 108.- Representación comparativa porcentual entre los grupos de velocidad en función del tipo de fibra. Fibras tipo I, Ila, Ilb y Ilc. V21 y V25.

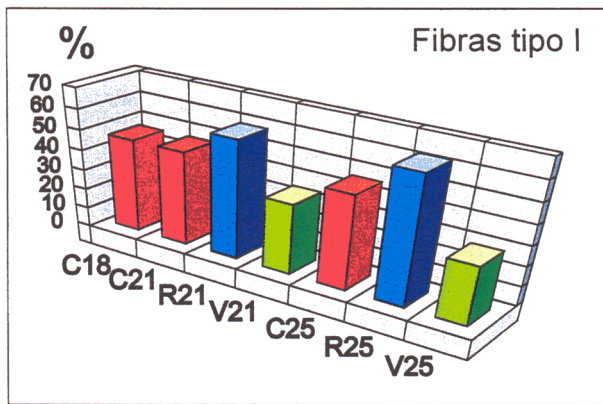


Figura 109.- Representación comparativa porcentual entre los distintos grupos control, resistencia y de velocidad. Fibras tipo I. C18, C21, R21, V21, C25, R25 y V25.

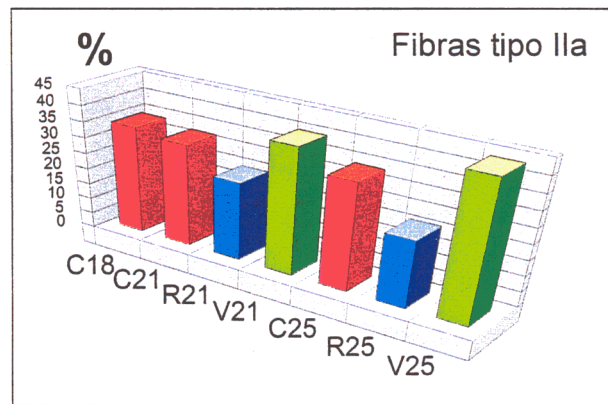


Figura 110.- Representación comparativa porcentual entre los distintos grupos control, resistencia y de velocidad. Fibras tipo IIa. C18, C21, R21, V21, C25, R25 y V25.

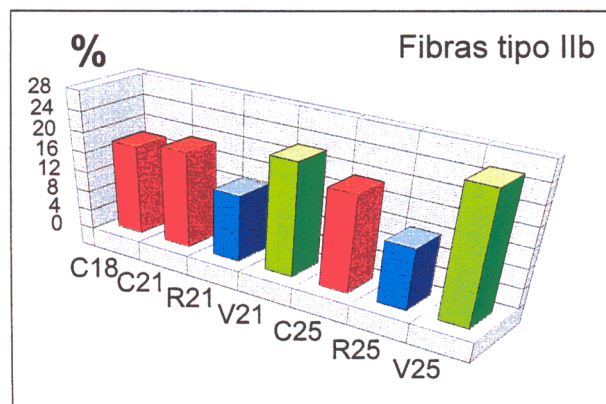


Figura 111.- Representación comparativa porcentual entre los distintos grupos control, resistencia y de velocidad. Fibras tipo IIb. C18, C21, R21, V21, C25, R25 y V25.

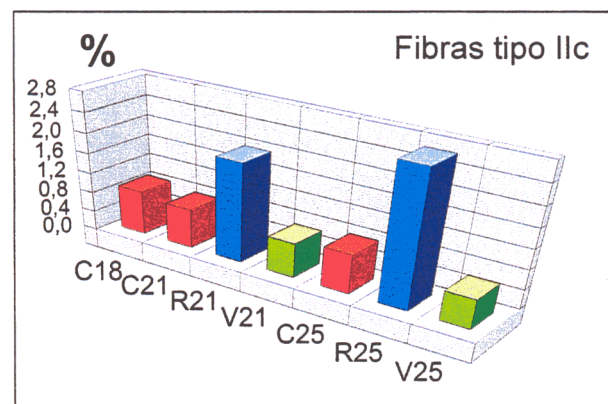


Figura 112.- Representación comparativa porcentual entre los distintos grupos control, resistencia y de velocidad. Fibras tipo IIc. C18, C21, R21, V21, C25, R25 y V25.

	Fibras tipo I	Fibras tipo IIa	Fibras tipo IIb	Fibras tipo IIc
C18	46.9±5.9	34.4±6.0	18.0±7.4	0.9±0.5
C21	47.1±6.2	32.8±5.7	19.3±6.7	0.8±0.5
C24	46.9±5.9	34.1±5.4	19.3±10.0	0.8±0.5
R21	59.1±5.7	25.1±5.3	13.5±6.9	2.0±0.7
V21	35.2±5.7	40.1±4.8	22.6±8.0	0.7±0.4
R24	63.3±4.5	21.6±3.1	12.3±4.8	2.7±1.4
V24	29.3±5.7	44.2±4.6	26.0±7.3	0.6±0.3

Tabla XIII.- Cuadro resumen comparativo de los resultados obtenidos en el estudio de la distribución porcentual de los diferentes tipos de fibra en cada grupo del protocolo experimental.

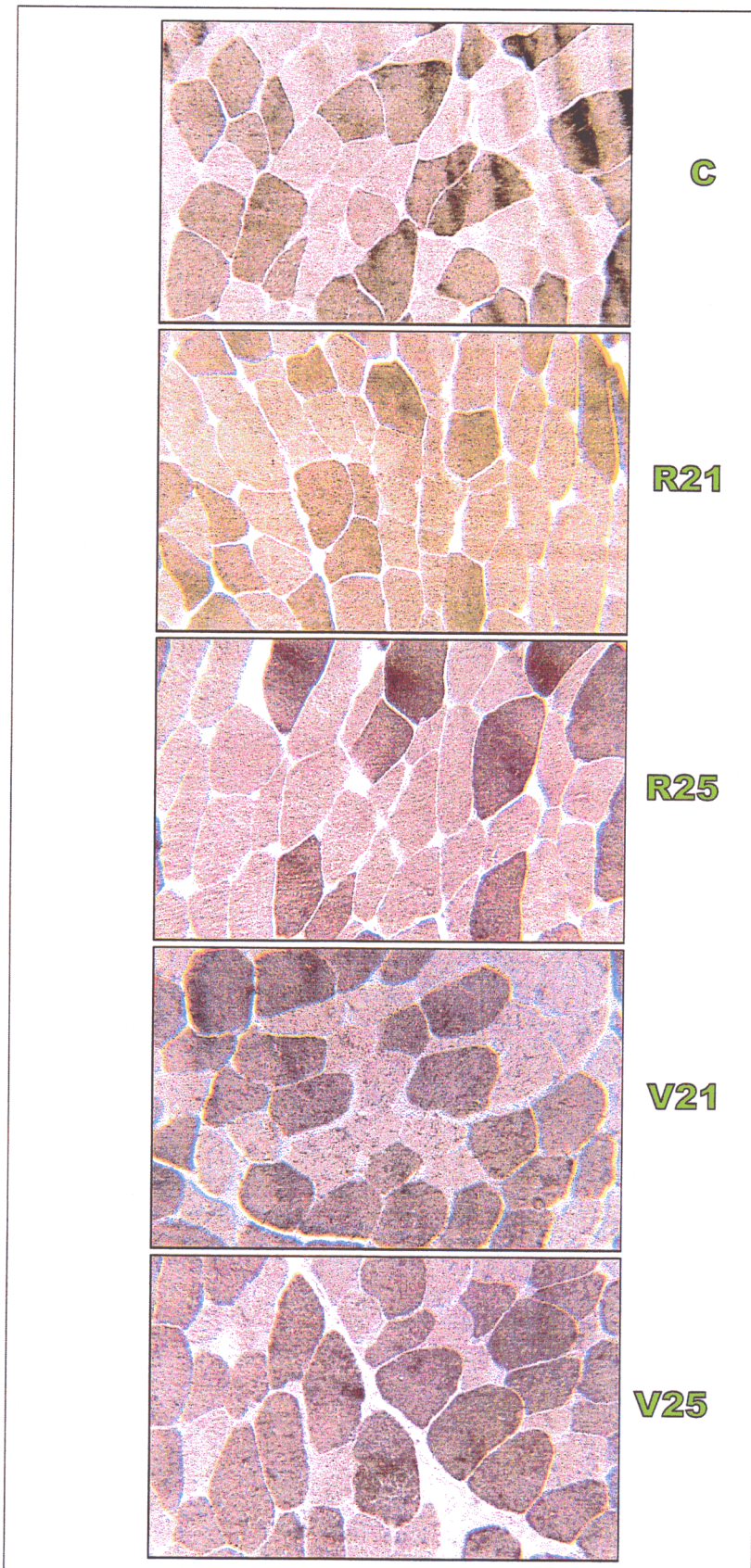


Figura 113.- Corte transversal de tejido muscular. Se observa la diferente proporción de fibras tipo I (claras) así como la superficie de corte transversal de cada grupo experimental. ATPasa pH 9,4 400x.

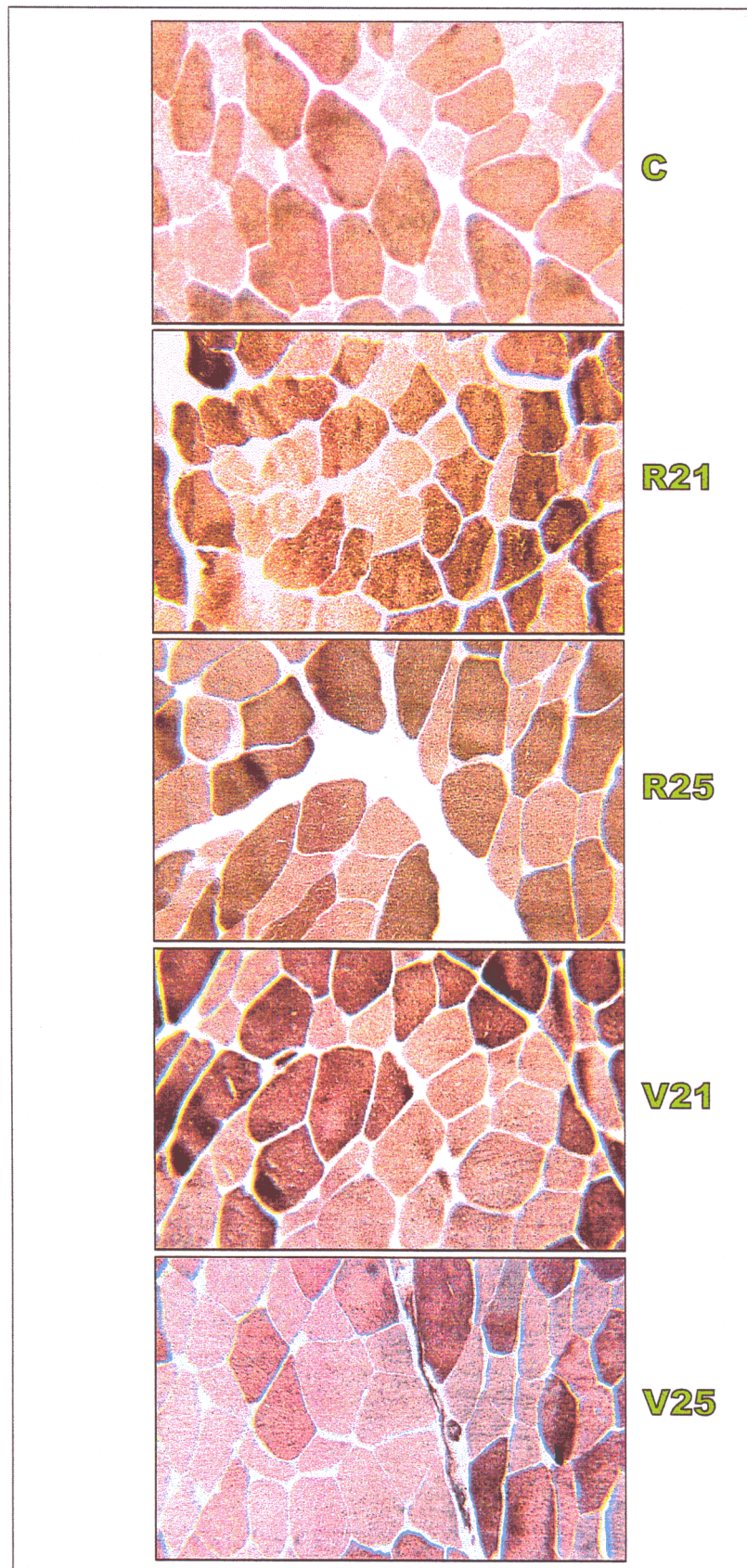


Figura 114.- Corte transversal de tejido muscular. Se observa la diferente proporción de fibras tipo IIa (claras) así como la superficie de corte transversal de cada grupo experimental. ATPasa pH 4,6. 400x

ABRIR CONTINUACIÓN RESULTADOS

