



UNIVERSITAT DE VALÈNCIA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA
ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE

MUSCULATURA DEL TRONCO
EN EJERCICIOS DE FORTALECIMIENTO
ABDOMINAL

Tesis Doctoral
Manuel Monfort Pañego
Dirección
M^aÁngeles Sarti Martínez
Valencia, 1998

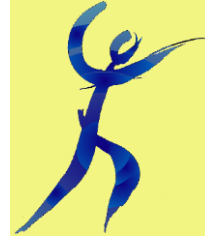
ISBN 13: 978-84-370-3841-4

ISBN 10: 84-370-3841-3

Título:	Musculatura del tronco en ejercicios de fortalecimiento abdominal
Autor/es:	Monfort Pañego, Manuel [Ver títulos]
Edición:	1. ed.
Fecha Edición:	04/1999
Fecha Impresión:	04/1999
Publicación:	Publicacions de la Universitat de València
Descripción:	2 microfichas (177 fotogramas) 12x16 cm
Colección:	Tesis doctorales [Ver títulos]
Materia/s:	WSK - Deportes de pista y campo, atletismo WSL - Gimnasia
Notas:	Tesis-Universidad de Valencia
Precio:	9,02 Euros



UNIVERSITAT DE VALÈNCIA
Dpto. Ciencias Morfológicas



Unidad de Cinesiología
UNIVERSITAT DE VALÈNCIA

**M^a ÁNGELES SARTI MARTÍNEZ, PROFESOR TITULAR DE LA
UNIVERSIDAD DE VALENCIA, ÁREA DE CIENCIAS MORFOLÓGICAS
(ANATOMÍA).**

Informa:

Que el trabajo titulado “*Musculatura del tronco en ejercicios de fortalecimiento abdominal*” es fruto del trabajo personal del Licenciado D. Manuel Monfort Pañego, trabajo que ha sido desarrollado en su totalidad en la Unidad de Cinesiología del departamento de CC. Morfológicas bajo mi dirección. Este trabajo reúne todos los requisitos establecidos por la legislación vigente para su lectura y defensa.

Valencia a 23 de Marzo de 1998

Fdo. Prof. Dr. M^a Ángeles Sarti Martínez.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Amparo y Manuel, porque han estado junto a mí.

A mis padres por su ejemplo de esfuerzo y dedicación en el trabajo.

Mi sincera gratitud a M^a Ángeles Sarti, por la confianza que hace tiempo depositó en mí, por su incansable estímulo y apoyo, por su intenso trabajo en la dirección de esta Tesis y su entrega constatare en mi formación.

Doy las gracias a mis compañeros de la Unidad de Cinesiología por su gran ayuda en el trabajo experimental, especialmente a Esther López y a Juan Francisco Lisón. También agradezco a M^a Ángeles Fuster el asesoramiento estadístico.

Por último, agradezco a los estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, por su colaboración en las pruebas experimentales.

Sin todas estas personas no habría sido posible la realización de este trabajo.

A mis padres.

A Amparo y a Manuel.

Índice

INTRODUCCIÓN

	INDICE.	I
1	ESTABILIZACIÓN DEL RAQUIS.	4
2	MOVIMIENTOS Y POSTURAS DEL CUERPO HUMANO.	15
2.1	<i>ESTUDIOS ELECTROMIOGRÁFICOS</i>	15
2.1.1	Ejercicios que movilizan la cabeza y el tronco.	15
2.1.2	Ejercicios que movilizan la pelvis y los miembros inferiores.	22
2.1.3	Otros ejercicios.	24
2.1.4	Porción superior e inferior del músculo rectus abdominis.	25
2.1.5	Variación de de la velocidad de la ejecución de los ejercicios.	27
2.2	<i>ESTUDIOS MECÁNICOS.</i>	28
2.2.1	Ejercicios que movilizan la cabeza y el tronco.	28
2.2.2	Ejercicios que movilizan la cintura pélvica.	30
2.2.3	Ejercicios que movilizan los miembros inferiores.	30
3	MÉTODOS DE LOS ESTUDIOS ELECTROMIOGRÁFICOS.	30
3.1	<i>POBLACIONES.</i>	31
3.2	<i>PROCEDIMIENTOS.</i>	32
3.3	<i>TÉCNICAS DE REGISTRO.</i>	34
3.4	<i>TRATAMIENTOS DE LOS DATOS.</i>	38
4	VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LAS DIFERENTES FORMAS DE EJECUTAR EJERCICIOS ABDOMINALES.	40
4.1	<i>FLEXIÓN DE LA CABEZA Y DEL TRONCO.</i>	40
4.2	<i>FLEXIÓN DE LOS MIEMBROS INFERIORES E INCLINACIÓN DE LA PELVIS.</i>	42

4.3	<i>INCORPORACIONES SOBRE PLANOS INCLINADOS</i>	42
5	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	43
 MÉTODO		
1	SUJETOS DEL ESTUDIO.	46
2	INSTRUMENTOS Y REGISTROS.	46
3	PROCEDIMIENTO.	51
3.1	<i>EJECUCIÓN DE LOS EJERCICIOS.</i>	51
3.2	<i>MEDICIONES ANTROPOMÉTRICAS.</i>	52
3.3	<i>VALORES DE LA PERCEPCIÓN DEL ESFUERZO.</i>	54
4	TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS.	54
4.1	<i>ACTIVIDAD ELÉCTRICA.</i>	54
4.2	<i>VARIABLES ANTROPOMÉTRICAS Y DE GÉNERO.</i>	55
4.3	<i>PERCEPCIÓN DEL ESFUERZO.</i>	57
5	DESCRIPCIÓN DE LOS EJERCICIOS.	58
 RESULTADOS		
1	ACTIVIDAD ELÉCTRICA.	80
1.1	<i>FIABILIDAD.</i>	80
1.2	<i>AGRUPACIÓN DE LOS EJERCICIOS DINÁMICOS.</i>	81
1.3	<i>COORDINACIÓN DE LA ACTIVIDAD MUSCULAR EN CADA EJERCICIO Y DISPERSIÓN DE LA RESPUESTA NEURAL.</i>	83
1.4	<i>GRADACIÓN DE LOS EJERCICIOS.</i>	86

1.4.1	En cada grupo de ejercicios.	86
1.4.2	Entre parejas de grupos de ejercicios.	94
1.4.3	Entre todos los grupos de ejercicios.	120
1.5	<i>PORCIÓN SUPERIOR E INFERIOR DEL MÚSCULO RECTUS ABDOMINIS.</i> ...	125
2	VARIABLES ANTROPOMÉTRICAS Y DE GÉNERO.	128
2.1	<i>SUBGRUPOS A₁ Y A₂ DE VARIACIÓN EN LA LONGITUD DEL TRONCO Y MIEMBROS INFERIORES.</i>	128
2.2	<i>SUBGRUPOS C₁ Y C₂ DE VARIACIÓN EN LA CURVATURA DORSO-LUMBAR</i>	128
3	VALORACIÓN DE LA PERCEPCIÓN DEL ESFUERZO.	129

DISCUSIÓN

1	ACTIVIDAD ELÉCTRICA.	132
1.1	<i>GRADACIÓN DE LOS EJERCICIOS</i>	136
2	DIFERENCIAS ANTROPOMÉTRICAS EN LOS SUJETOS.	145
3	PORCIÓN SUPERIOR E INFERIOR DEL MÚSCULO RECTUS ABDOMINIS.	147
4	PERCEPCIÓN DEL ESFUERZO.	148
5	SUGERENCIAS.	149

CONCLUSIONES

.....	154
-------	-----

BIBLIOGRAFÍA

.....	158
-------	-----

ANEXOS

..... 170

“La pasión por el cuerpo se hace a todos patente en la práctica y la contemplación del deporte, en el exquisito cuidado de la salud, en el invasor auge de la dietética y cosmética, en la arrolladora vigencia del sexo, en tantos y tantos rasgos más de la vida actual. Por todas partes de distintos modos, nuestro cuerpo se nos ha hecho más-que-cuerpo..” **Láin Entralgo, Pedro**

Introducción

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de las ciencias de la actividad física y del deporte podemos delimitar varios enfoques en el estudio del desarrollo de la musculatura. En primer lugar, el enfoque estético o de “culto al cuerpo” tiene como objetivo aumentar el volumen muscular y disminuir el índice de masa grasa en la composición corporal, para conseguir mayor definición de las formas corporales. En segundo lugar, el enfoque deportivo o de alto rendimiento explota hasta el límite las posibilidades del cuerpo humano, busca el desarrollo máximo de las acciones específicas de los músculos para la práctica deportiva. Por último, el enfoque educativo busca transmitir conocimiento acerca del cuerpo humano, en el caso que nos ocupa, acerca del funcionamiento de la musculatura del tronco en el desarrollo de la persona, con el fin de desarrollar programas de acondicionamiento físico coherentes con una práctica saludable. (Armstrong 1991, Almond 1990).

Estos enfoques en el ámbito de las ciencias de la actividad física y el deporte utilizan diferentes métodos para el fortalecimiento de la musculatura abdominal, métodos que tradicionalmente se han puesto en práctica de acuerdo con una serie de costumbres o tópicos, algunos de los cuales todavía subsisten. Entre tales tópicos destacamos:

- El ejercicio de flexión de cadera y tronco, despegando la zona lumbar del suelo, es idóneo para el fortalecimiento de la musculatura abdominal, y para valorar su fuerza y resistencia. Por esta razón es uno de los más utilizados.
- Los ejercicios que movilizan el tronco trabajan más la porción superior del músculo rectus abdominis y los que movilizan miembros inferiores y la pelvis desarrollan más su porción inferior.
- Cuanto más doloroso es un movimiento para un músculo, mejor es para su desarrollo.
- La utilización de ejercicios dinámicos permite mayor desarrollo de la musculatura.

Estos tópicos arrastran tras de sí toda una tradición en la Educación Física, y son fruto de la falta de aplicación del conocimiento de las ciencias básicas a esta disciplina. En la literatura de la Educación Física no aparece reflejado ningún estudio que tenga en cuenta los factores que podrían influir en la utilización de los ejercicios para el fortalecimiento de la musculatura abdominal, factores como: el nivel de intensidad de la contracción muscular que provoca la utilización de cada uno de los ejercicios, el grado

de dificultad en su ejecución, la activación funcional de la musculatura a desarrollar, la intervención e interacción de esta musculatura con otros músculos, el efecto de los ejercicios sobre la estabilidad del raquis, etc.

Estas deficiencias despertaron nuestra preocupación y nos llevaron a recopilar información sobre la función de la musculatura del tronco en el cuerpo humano. Información que, de forma resumida, presentamos en las páginas siguientes.

Desde el siglo XIX, los textos clásicos sobre anatomía descriptiva (Testut y Latarjet 1979, Rouviere 1986, Williams y Warwick 1985, Smith y cols. 1981), han atribuido a los músculos abdominales las siguientes acciones:

- Emuntórica de las vísceras abdominales y pelvianas por la compresión ejercida sobre las mismas durante su contracción.

- Respiratoria en la fase espiratoria, al descender las costillas.

- Flexión del tronco, aproximando las costillas a la pelvis o viceversa.

La neurofisiología considera a los músculos abdominales como flexores fisiológicos o gravitatorios, ya que su acción en la postura erecta es asistida por la gravedad (Kendall y McCreary 1985, Cardinali 1992).

A partir de la década de los 60, el estudio mecánico del aparato locomotor ha descrito a la musculatura del tronco como uno de los principales sistemas corporales que participan en el mantenimiento de la estabilidad raquídea. Entendemos por “estabilidad raquídea, la habilidad del raquis para limitar patrones de desplazamiento bajo cargas fisiológicas de forma que no dañe o irrite la cuerda espinal o raíces nerviosas, en suma, que prevenga la discapacidad por deformación o dolor debido a cambios estructurales”. (White y Panjabi 1990, Kreighbaum y Barthels 1990).

Tras revisar la literatura científica sobre la musculatura del tronco agrupamos los trabajos en aquellos que estudian la participación de la musculatura del tronco en el mantenimiento de la estabilidad raquídea, y aquellos que determinan su participación en distintos movimientos y posturas en consonancia con otros grupos musculares del tronco y de los miembros inferiores.

1. ESTABILIZACIÓN DEL RAQUIS.

Los primeros estudios sobre la estabilización raquídea se centraron en la función de la musculatura extensora del raquis y el efecto de las cargas sobre el sistema esquelético vertebral, los anillos fibrosos y el núcleo pulposo. Los estudios mecánicos de Bearn (1961) y Bartelink (1957) mostraron que, durante el levantamiento de un peso, el momento extensor generado por la musculatura posterior del tronco para vencer la carga

debe ser superior al peso levantado. Bearn, en 1961, explicó que los erectores de la espina actúan a una distancia de unos 5 cm por detrás del disco y la carga aplicada a movilizar se encuentra a unos 50 cm del disco, de esta forma, la fuerza desarrollada por el músculo deberá ser 10 veces superior al peso levantado. Además, la carga que soportan los discos es 10 veces superior al peso levantado por las manos, más el peso corporal que queda por encima de ese nivel, y mucho mayor en el inicio del movimiento debido a la aceleración.

Estudios realizados sobre los discos intervertebrales muestran que éstos se deterioran ante fuerzas compresivas más bajas de lo esperado. Hirsch (1951), Virgin (1951), Hirsch y Nachemson (1954), y Bartelink (1957) observaron que los discos intervertebrales se deterioraron a presiones ejercidas por pesos menores de 50 kg. Kelsey y cols., en 1984, observaron que levantar pesos de más de 12,5 kg con frecuencia, conlleva un riesgo alto de lesión intradiscal; dicho riesgo aumenta cuando el objeto es levantado alejado del cuerpo, cuando en el movimiento existe un componente rotacional y cuando se aplica una carga repentina o inesperada (Kelsey y cols. 1984, 1990, Molumphy y cols. 1985). En 1957 Perey demostró, en estudios postmortem, que levantar más de 125 kg conlleva un riesgo seguro de lesión. Aunque estos resultados fueron obtenidos del estudio de una población normal, estas afirmaciones no son válidas para levantadores de peso (halterófilos) que cargan con pesos muy superiores sin ningún tipo de lesión (Perey 1957). Por otra parte, hay estudios que demuestran que la capacidad de las vértebras para soportar cargas en vivo es muy superior a su capacidad para soportarlas in vitro (Bartelink 1957).

Las investigaciones muestran cómo las presiones, que teóricamente se consiguen en los discos intervertebrales durante levantamientos de peso, son mayores a las que en realidad estos pueden soportar. Estos resultados inducen a pensar que existen mecanismos alternativos que protegen el raquis lumbar durante la aplicación de grandes cargas. Morris y cols. (1961), Farfan (1975, 1973) y Gracovetsky y cols. (1985) mostraron cómo los músculos de la espalda no son, por sí solos, suficientemente fuertes como para elevar el tronco cuando se levantan cargas extremas. Por esta razón sugieren la existencia de otros mecanismos auxiliares que intervienen en la disminución de la presión intradiscal como: la presión intra-abdominal (PIA), la fascia toracolumbar (FTL), el sistema ligamentoso y la presión intracompartimental (PIC).

Uno de los primeros autores que habló sobre los efectos de la PIA fue Duchenne en 1867, quien describió la disminución de las fuerzas compresivas sobre la espina lumbar gracias a la acción ejercida por las fibras costales del músculo diafragma “la

parte costal del diafragma puede elevar las costillas inferiores, oponiéndose directamente a los efectos de compresión del latísimo del dorso sobre el raquis”.

En 1904, Beevor aclara que la contracción de los músculos abdominales y el diafragma aumentan la presión intra-abdominal para estabilizar la caja torácica en contra de las fuerzas de compresión del latísimo del dorso. Bartelink, en 1957, explica más detalladamente el funcionamiento del mecanismo de la presión intra-abdominal. El aumento de la presión intra-abdominal, mediante la contracción de la musculatura abdominal y el cierre de la glotis y annus, durante el levantamiento de peso, proporciona un mecanismo de protección de la columna. Esta presión proporciona un empuje, bajo el diafragma y sobre el suelo pélvico, que se transmite a la espina torácica y a los hombros por medio de las costillas, disminuyendo así la carga sobre el raquis (Figura 1). En este estudio no se dieron datos sobre los niveles de longitud de la palanca.

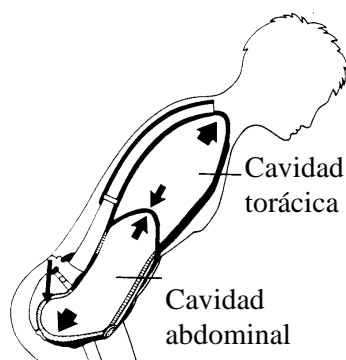


Figura 1: Mecanismo de presión intra-abdominal

A partir de aquí, surge un importante número de investigaciones que analizan las variaciones de la PIA en diferentes posiciones y con diferentes cargas, así como los músculos responsables de estas variaciones.

Bearn, en 1961, estudió la relación entre el aumento de la presión intra-abdominal y la actividad de los erectores, concluyendo que la tensión desarrollada en la pared abdominal anterior es responsable de la flexión del raquis, y contribuye al empuje hacia arriba a través del diafragma, gracias a la PIA. El aumento de actividad de los erectores de la espina, asociado a esta actividad de los flexores del tronco, es una respuesta sinérgica para neutralizar los momentos flexores y colaborar con el latísimo del dorso en la transmisión del peso de los miembros superiores hacia los inferiores.

Eie y Wehn, en 1962, determinaron la presión intra-abdominal en dos movimientos, un levantamiento y una contracción abdominal, mediante un balón catéter

que se introdujo en el estómago. En su estudio observó que la presión aumentó con la inclinación hacia delante y con el aumento del peso de la carga a levantar. La angulación en la que obtuvo mayor presión fue a los 45°, mientras que en posición erecta la presión disminuyó. No obstante, la elevación de una carga con la espalda flexionada o en mala posición aumentó más la presión intra-abdominal que con la espalda cercana a la posición erecta manteniendo la lordosis lumbar. La presión conseguida varió en función de la fuerza de los atletas: 225 mmHg para el más fuerte y 25 mmHg para el débil. En descanso, la presión fluctuó con la respiración desde 7-12 mmHg, para el menos fuerte, a 15-25 mmHg, para el más fuerte. Con todo ello, este autor concluyó que la presión intra-abdominal contrarresta la presión sobre las vértebras lumbares y los discos. Esta presión hace posible que individuos fuertes ejecuten ejercicios que, de otra forma, causarían lesión sobre el raquis.

Grillner y cols. 1978 demostraron aumentos de la presión intra-abdominal durante movimientos naturales ejecutados a mayor velocidad o con mayor carga. Además estos autores también demostraron que la señal electromiográfica de la musculatura abdominal durante la marcha apareció con una antelación de 50 ms o más que el impacto producido con el apoyo del pie.

En un estudio más completo, Grew y cols., en 1980, analizaron la variación de la presión intra-abdominal aumentando la carga aplicada isométricamente en diferentes posiciones: 1ª Flexión de tronco con brazos extendidos, tirando verticalmente. 2ª Posición erecta con brazos extendidos, tirando verticalmente. 3ª Posición erecta con una correa en el pecho, aplicando cargas horizontales hacia delante. 4ª y 5ª Igual al anterior aplicando la carga lateralmente hacia la izquierda y la derecha. 6ª Igual al anterior aplicando la carga hacia atrás.

Sus resultados demostraron que:

1º- La presión intra-abdominal con el tronco flexionado contribuyó en menor medida a mantener el equilibrio de la espina. Esto le hizo pensar que debían ser fuerzas de la parte posterior de la espina las encargadas de mantener la estabilidad en esta posición, provocando mayor estrés de compresión sobre los discos.

2º- Se solicitó mayor presión intra-abdominal cuando se aplicó una carga a través de los brazos. Esto podría ser a causa de la activación de los músculos que atraviesan la caja torácica, o bien porque indirectamente los músculos posteriores aumentan el estrés espinal induciendo una respuesta refleja mayor.

3º- La presión intra-abdominal aumentó linealmente con respecto al momento flexor aplicado. Todos los tests fueron realizados isométricamente, lo que nos indica que

este aumento de presión proporciona resistencia a los momentos de flexión en posiciones estáticas.

Otros estudios (Troup y cols. 1983, Leskinen y cols 1983, Schultz y cols 1982) vieron, que mientras la presión intra-abdominal correlacionó bien con las cargas que se aplicaron sobre la espina de forma estática, ésta correlacionó pobremente con las cargas aplicadas de forma dinámica. Además, el gran aumento inicial en la PIA durante levantamientos de pesos máximos fue breve, ya que durante la mayor parte del proceso de levantamiento se obtuvieron presiones bajas (Bartelink 1957, Davis 1956, 1981). Cresswel y Thortensson, en 1994, observaron que durante un levantamiento de peso la PIA presentó dos picos y un silencio en el centro. El primero de los picos correspondió al inicio del levantamiento, durante la aceleración del peso cargado, y el otro, al final del movimiento, durante la deceleración del peso cargado. El silencio de la PIA, en el centro del movimiento, correspondió con una disminución de la presión en posición erecta.

Como hemos visto, todos los estudios coinciden en que el aumento de la carga y del momento flexor sobre el raquis lumbar está asociado con un aumento de la PIA. Esta respuesta se interpreta como un mecanismo de protección del raquis ante situaciones de inestabilidad (Beevor 1904, Allan 1948, Floyd y Silver 1955, Bartelink 1957, Bearn 1961, Morris y cols. 1961, Eie y Wehn 1962, Grew y cols. 1980, Farfan y Gracovetsky 1981, Schultz y cols. 1982). Donde parece no haber tanto consenso es en la determinación de los mecanismos responsables de aumentar esta presión intra-abdominal

En 1950, Floyd y Silver observaron que los músculos obliquus internus y externus y, en menor medida, el rectus abdominis se contraen en los aumentos de PIA. De esta forma, pueden desarrollarse fuerzas longitudinales en la pared abdominal que flexionan la columna. Esto hizo pensar que, si las fuerzas que actúan longitudinalmente eran mayores que las de la presión intra-abdominal que empujan hacia arriba, debía existir tensión en los erectores espinales. Estudios sobre el erector spinae demostraron que la actividad de éste era causada por una acción sinérgica a la fuerza desarrollada por la pared abdominal.

Andersson y cols. (1977), Grew y cols. (1980) y Schultz y cols. (1982) observaron que la actividad del rectus abdominis aumenta en los levantamientos en proporción al peso levantado o al momento de flexión generado. Hemborg y Mortiz, en 1985, estudiaron la relación entre la PIA, la fuerza y la actividad generada por los músculos del abdomen en el levantamiento de cargas, antes y después de un entrenamiento isométrico de esta musculatura. Hallaron que todo aumento de carga

provoca un aumento de la actividad del obliquus externus y de la PIA. Tras el entrenamiento, la PIA permaneció constante en los mismos levantamientos y la actividad del obliquus externus disminuyó mejorando su fuerza máxima. Una vez obtenidos estos resultados se procedió al análisis de la correlación de la actividad del oblicuo del abdomen y la PIA antes y después del entrenamiento, y se vio que no existía correlación entre ambos. Estos últimos resultados llevaron al autor a concluir que la relación de la actividad muscular y la PIA era una casualidad. Sin embargo, es razonable, que tras el entrenamiento, la actividad de un músculo disminuya ante el mismo esfuerzo (Herbert y DeVries 1968) y que la PIA permanezca constante debido a que la presión necesaria para realizar dicho esfuerzo sea la misma. Según este razonamiento es poco lógico correlacionar estas dos variables antes y después de un entrenamiento esperando que esta correlación sea positiva o alta.

Estudios posteriores siguen encontrando una relación entre el aumento de la actividad de los obliquus y la PIA. En 1987, Delitto y cols. observaron una activación de los músculos erectores de la espina y obliquus durante el primer periodo de un levantamiento, y Zetterberg (1987) relacionó el aumento de la actividad del rectus abdominis durante movimientos de flexión y extensión con el aumento de la PIA. Cresswell y cols. (1992 y 1993), estudiaron la actividad de los músculos rectus, obliquus y transversus abdominis y erector spinae, y su relación con la PIA durante tareas de carga y otros movimientos, observando que la actividad del transversus fue la que mayor relación tuvo con las variaciones en la PIA. Sin embargo, durante la fase de aceleración en un levantamiento de peso los músculos que más se activaron fueron los obliquus y el rectus abdominis y durante la deceleración, los transversus y el erector spinae.

Si bien la PIA ha sido un mecanismo ampliamente estudiado, no parece ser el único que interviene en el mantenimiento de la estabilidad del raquis.

Estudios bimecánicos han creado modelos matemáticos computerizados para estudiar el reparto de fuerzas sobre los diferentes factores que, se cree, que intervienen en el mantenimiento de la estabilidad del raquis lumbar (Farfan y Gracovetsky 1981, Bogduk y cols. 1984, Gracovetsky y cols. 1985). Estos estudios observan que la PIA no es autosuficiente para llevar a cabo la labor de mantenimiento de la estabilidad del raquis, ya que la presión que se debería conseguir en la cavidad abdominal sería tan alta que no permitiría el flujo sanguíneo por la arteria aorta (Gracovetsky y cols. 1985). Estas dudas sobre el papel de la PIA en el mantenimiento de la estabilidad del raquis llevaron al estudio de otros mecanismos estabilizadores cuyo enfoque se dirigió hacia el

conocimiento de la utilidad o función de la fascia toracolumbar y de los sistemas ligamentosos del raquis.

La fascia toracolumbar (FTL) es una faja que abraza la parte posterior del raquis y se une por la cara anterior con la musculatura abdominal por medio del rafe (Figura 2). En un principio se creyó que su función no era más que la de una aponeurosis de los músculos de esta zona, pero estudios posteriores le dan una función más relevante.

En un estudio morfológico de la fascia toraco-lumbar, Bogduk y cols., en 1984 y 1991, describen detenidamente la capa posterior o profunda. La capa posterior tiene dos láminas que forman una serie de triángulos solapados de fibras de colágeno. El borde superior del triángulo forma la lámina profunda, y el inferior la superficial. Con el raquis en posición neutral, las fibras de la capa posterior forman 30° con la horizontal y 40° en posición flexionada. Por la parte externa, la FTL se une con la musculatura antero-lateral del abdomen por medio del rafe. Aparte de unas pocas fibras del obliquus internus que están unidas al rafe, sólo el transversus se une con la capa posterior de la FTL. Así, las fuerzas transversales, provocadas por la contracción de los músculos obliquus y transversus sobre el rafe, se transmiten por los lados del triángulo, provocando una fuerza con dos componentes: vertical y horizontal. Este ordenamiento permite una tensión lateral en la capa posterior que se transforma en una fuerza que tiende a aproximar los procesos espinosos y es equivalente a una extensión o fuerza de antiflexión (Bogduk y cols. 1984).

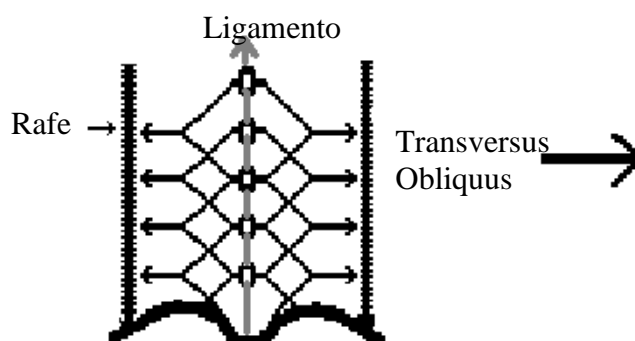


Figura 2: Mecanismo de la fascia toracolumbar. Visión posterior del raquis lumbar.

Gracovetsky y Farfan, en 1977, desarrollaron un modelo matemático que incluyó la musculatura abdominal y la fascia toracolumbar como mecanismos activos en la disminución de la carga sobre el raquis lumbar, y estudiaron la participación de los ligamentos posteriores al observar una incapacidad de la musculatura de la espalda para soportar grandes cargas. Como resultado observaron que los ligamentos pueden

equilibrar del 24% al 50% de los momentos flexores aplicados. Esto, sin embargo, depende de la cantidad de flexión lumbar que sea necesaria para que la espina se alargue y provoque tensión en los ligamentos. En 1985, estos autores realizaron un estudio anatómico más exacto de la musculatura del tronco que permitió describir y calcular los mecanismos abdominales que contribuyen al aumento de la presión intra-abdominal y su influencia sobre la fascia en la producción de momentos extensores. De esta forma, descubrieron que las fibras posteriores transcurren oblicuamente a los procesos espinosos lumbares, lo que sugirió que la tensión en la fascia podría actuar previniendo la separación de los procesos espinosos y provocando, así, un momento de antiflexión. Esta tensión en la FTL podría ser provocada por la contracción de los músculos abdominales que se unen con la fascia toracolumbar, especialmente transversos y oblicuo. Grakovetsky explica la acción del rectus abdominis como una sinergia en la creación de momentos extensores o antiflexores, cuya función es presurizar la cavidad abdominal con el fin de colocar el oblicuo y el transverso del abdomen en el mismo plano que las fascias para que la tensión que transmitan sea más eficaz.

Macintosh y cols. (1987) observaron que el transverso y la FTL son cualitativamente capaces de producir un momento de extensión o de antiflexión de la espina lumbar, pero la magnitud de fuerza que pueden ejercer es pequeña, unos 3,9-5,9 Nm en relación a los 250-280 Nm de la musculatura de la espalda.

Otro mecanismo que entra en acción en la creación de este momento extensor es el denominado mecanismo amplificador hidráulico, por el cual la contracción de la musculatura de la espalda podría estirar la capa posterior de la fascia que le recubre aumentando la tensión y utilizando así el mismo mecanismo triangular descrito por Bogduk (1984). Tesh, en 1987, encontró que la actividad muscular del erector spinae provocaba un aumento de la presión intracompartimental (PIC) en el espacio paraespinal. Las capas media y posterior de la fascia toraco-lumbar, columna vertebral y ligamento interespinoso e intertransverso forman un compartimento cerrado alrededor del músculo erector spinae. Cuando este músculo se contrae, aumenta su sección transversal y desarrolla un aro de tensión en la capa fascial. Consecuentemente, la fascia posterior y media son tensionadas durante la activación del músculo erector de la espina sin conllevar necesariamente la acción del músculo abdominal. Esta tensión circunferencial puede ser ahora convertida en una tensión caudocraneal por la propia fascia.

Estos estudios fueron apoyados por Bogduk y cols. (1984), Macintosh cols. (1987) y Tesh (1987) con una salvedad, la puesta en duda de la importancia de la

musculatura del abdomen en la generación de tensión sobre la FTL, dando mayor importancia al mecanismo de amplificación hidráulico.

Estudios indirectos sobre la musculatura del tronco nos ayudarán a comprender mejor su funcionamiento en el mantenimiento de la estabilidad del raquis. La mayoría de estos trabajos están dedicados al estudio de una de las patologías más comunes asociadas a la inestabilidad lumbar: el síndrome del dolor lumbar (DL). Son muchos los estudios que se han dedicado a demostrar la relación existente entre este síndrome y la debilidad de la musculatura abdominal. Fairbank y cols.(1980) observaron aumentos de la PIA en sujetos que padecieron dolor lumbar y los explicaron como un mecanismo de prevención inconsciente. Quinney y Smith (1984) también observaron que aquellos sujetos que padecieron dolor lumbar crónico tuvieron menor resistencia abdominal ejecutando ejercicios de encorvamiento de tronco.

Otros estudios intentaron asociar la inestabilidad raquídea con deficiencias en la musculatura extensora del raquis. Schultz y Andersson (1982) estudiaron movimientos de flexión y extensión del raquis en pacientes con DL y observaron una debilidad del 50% mayor durante los movimientos de extensión. McNell y cols (1980) aplicaron un test de fuerza a dos grupos, uno sano y otro con DL, observando un índice bajo de fuerza extensora del raquis en este último grupo. Valencia y Muro (1985) demuestran que el multifidus es el mayor estabilizador.

Los estudios más recientes reconocen a los músculos obliquus, transversus y a la musculatura profunda de la espalda como los principales responsables de la estabilidad del raquis mediante la puesta en marcha de todos los mecanismos ya explicados. Richardson y Toppenberg (1990), apoyándose en los estudios sobre los músculos responsables del aumento de la PIA y de la estabilidad del raquis, establecieron una fórmula que refleja los patrones estabilizadores óptimos (E) durante la ejecución de ejercicios, en función de la contribución de los músculos obliquus externus (OE), erector spinae (ES) y la porción superior (RS) e inferior del músculo rectus abdominus a la estabilización del raquis ($E = 2OE + 2ES + 1RI - 5RS$). Esta fórmula la utilizó para comparar diferentes tipos de ejercicios: encorvamientos de tronco en línea recta, con y sin resistencia, encorvamientos de tronco con giro contra resistencia en la pelvis y el tronco, y el puente con giro resistido. Como resultado de esta comparación, observó que los ejercicios que produjeron rotación fueron los más apropiados para estabilizar el raquis, ya que obtuvieron patrones estabilizadores positivos. Wohlfahrt y cols. (1993) observaron que un aumento en la capacidad de los músculos del abdomen para ejecutar una función dinámica (un alto número de encorvamientos) afectó positivamente sobre su

función estática o estabilizadora. Hodges y Richardson (1997) observaron que la respuesta de la musculatura abdominal y erectora del raquis se anticipó a los movimientos de las extremidades, siendo los músculos obliquus y transversus los primeros en activarse. Esta respuesta de la musculatura del tronco se explica como una reacción a las fuerzas desestabilizadoras provocadas por el movimiento de las extremidades.

Como hemos visto, todos los estudios experimentales consultados sobre sujetos vivos coinciden en que un aumento del momento flexor o de la carga sobre la columna está asociado con aumentos en la PIA y en la actividad eléctrica de los músculos erectores espinales y abdominales. Además, mientras los estudios anatómicos confirman la unión de la FTL con la musculatura abdominal, los estudios sobre modelos matemáticos basados en las características morfológicas del cuerpo humano apuntan a los elementos osteoarticulares y ligamentosos como los responsables de la estabilidad raquídea durante la aplicación de una carga o momento flexor, con la participación activa de la musculatura del tronco: transversus, obliquus, rectus abdominis y erector spinae (Beevor 1904, Allan 1948, Floyd y Silver 1955, Bartelink 1957, Bearn 1961, Morris y cols. 1961, Eie y Wehn 1962, Andersson y cols. 1977, Grew y cols. 1980, Farfan 1981, Schultz y cols. 1982, Gracovetsky y cols. 1985, Richardson y Toppenberg 1990, Wohlfahrt y cols. 1993, Hodges y Richardson 1997). Así pues, todos estos estudios respaldan el importante papel de la musculatura del tronco en la estabilidad raquídea y la necesidad del mantenimiento de sus capacidades funcionales para la mejora de la calidad de vida.

Algunos de los estudios comentados cuestionan, como hemos visto, el mecanismo de soporte espinal de la musculatura abdominal. Pero un análisis de tales estudios pone en evidencia que la mayoría son estudios biomecánicos sobre modelos matemáticos que, en muchos casos, no se ajustan a la realidad, sino que parten de un conocimiento fragmentado sobre el comportamiento del cuerpo humano que no abarca la totalidad del problema. Por otra parte, la mayoría de los estudios que a partir de aquí presentamos proporcionan un conocimiento experimental fundamentado en la compleja realidad del funcionamiento del cuerpo humano que, contrariamente a los estudios anteriores, demuestra la función estabilizadora de la musculatura del tronco.

Las razones más importantes que justifican la función estabilizadora de la musculatura del tronco son:

a- Los músculos del tronco permanecen activos durante todos aquellos movimientos o aplicaciones de cargas que implican un estrés para el raquis.

b- Son muchos los estudios anatómicos, cinesiológicos y biomecánicos que señalan, de forma directa, a los elementos activos como los responsables de la estabilidad raquídea.

c- Los sujetos con síndrome de dolor lumbar presentan deficiencias en la fuerza, la resistencia de la musculatura del tronco y rápida aparición de la fatiga.

d- La musculatura del tronco es la primera en activarse ante movimientos desestabilizadores del raquis provocados por las extremidades.

Autor	Ejercicios Estudiados
Floyd 1950	DLR, HCU
Ono 1958	DLR, HCU
Patridge 1959	PPT, HR, RCU, HCU, CsSU, SLSU
Sheffield 1962	LR, DLR, HSU
Flint 1965	LR, DLR, HSU, LSU, SLSU
Flint y Gudgeon 1965	PPT, VS, LR, DLR, SLSU, HR, PU, BH
La Ban 1965	HSU, LSU
Lipetz 1970	CLSU, CHSU, ArBSU, HSU, LR, DLR
Gutin 1971	CLSU, CHSU, MHSU, ISU, VS, HCU, BH, ArBSU, HSUACH SUHP
Carman 1972	LR, DLR, PPT
De Sousa 1974	LR, DLR, LSU
Godfrey 1977	HSU, LSU
Halpern 1979	HCU, HSU, CLSU, CsSU
Ekholm 1979	IsCU, HR, HCU, LCU, CUHP
Britten 1980	HCU
Ricci 1981	HCU, LCU, DLR, LR, LSU, HSU, PPT
Bankoff 1984	DLR, LR, LSU, RCU
Miller 1987	HCU
Faulkner 1989	HCU, HCU+PPT
Richardson 1990	IsCU, HCU, CPR, PPT, CsCU, BPR
Guimaraes 1991	LR, DLR, HCU, LCU, LSU, HSU, BH, ISU, VS, CLSU
Richardson 1992	PPT
Wohlfahrt 1993	HCU
Gillerd 1994	PPT
Shirado 1995	HCU + PPT
Monfort 1995	HCU
Moraes 1995	DLR, LR, CsCU, ICU, HCU
Sarti 1996 a	HCU; PPTC
Sarti 1996 b	HCU; PPTC, HSU
Sarti 1996 c	HCU; PPTC, HSU
Monfort 1996	HCU
Hodges 1997	---
Monfort 1997	HCU, PPTC, HSU
Andersson 1997	HCU, LCU, LSU, HSU (igual en isométrico)
Axler 1997	HCU, LCU, LSU, HSU, BH

Tabla 1: Ejercicios de interés estudiados por cada autor.

2. MOVIMIENTOS Y POSTURAS DEL CUERPO HUMANO.

Los estudios sobre la musculatura del tronco en diferentes movimientos son por una parte, estudios electromiográficos, y por otra parte, estudios mecánicos. Los ejercicios¹ estudiados en cada uno de estos trabajos aparecen en la siguiente tabla (Tabla 1).

2.1 ESTUDIOS ELECTROMIOGRÁFICOS

2.1.1 Ejercicios que movilizan la cabeza y el tronco.

Rodillas flexionadas o extendidas

Rectus abdominis - Flint y Gudgell (1965), Lipetz y Gutin (1970), Ricci y Machetti (1981), y Guimaraes y Vaz (1991) observaron durante la ejecución de incorporaciones de tronco con rodillas flexionadas (HSU, CHSU) y extendidas (LSU, CHSU) que la intensidad de la actividad eléctrica de este músculo fue similar en ambos ejercicios. Ekholm y Arborelious (1979), Andersson y cols. (1997) y Axler y McGill (1997) observaron este mismo resultado en los encorvamientos de tronco. Halpern y Bleck, en 1979, estudiaron el tiempo de duración de la actividad en las incorporaciones con rodillas flexionada y extendidas (HSU y LSU), observando una duración de un 34% del tiempo total en el ejercicio con rodillas extendidas y un 48% del tiempo total en el ejercicio con rodillas flexionadas. Por otra parte, Gutin y Lipetz (1971) y Godfrey y Kingdig (1977) observaron una mayor activación del músculo RA al flexionar las rodillas durante la ejecución de incorporaciones.

Obliquus externus -. Halpern y Bleck (1979) observaron que la duración de la actividad eléctrica de este músculo ocupó el 25% del tiempo total durante la ejecución de incorporaciones con rodillas extendidas (LSU) frente a un 40% con rodillas flexionadas (HSU). Ekholm y Arborelious (1979) añadieron a esta información, que ejecutar encorvamientos con rodillas flexionadas (HCU) provocaba un nivel de actividad eléctrica significativamente superior en este músculo frente al nivel conseguido durante los encorvamientos ejecutados con rodillas extendidas (LCU).

Iliopsoas - Flint, en 1965, observó que la actividad eléctrica de este músculo fue suave durante los primeros 45° de movimiento de tronco en las incorporaciones, tanto durante la subida como durante la bajada, y muy fuerte por encima de los 45°. La Ban y Raptou

(1965) observaron que este músculo presentaba actividad durante la ejecución de incorporaciones con rodillas y caderas extendidas (LSU) después de los primeros 30° de flexión de cadera, mientras que con incorporaciones con rodillas flexionadas observó actividad durante todo el rango de movimiento. Por otra parte, los estudios de Lipetz y Gutin (1970) y Gutin y Lipetz (1971) muestran una disminución de la participación de los flexores de la cadera (iliopsoas y rectus femoris) durante la ejecución de incorporaciones con rodillas flexionadas 65° (HSU). Andersson y cols. (1997) en la comparación de la intensidad de contracción en este músculo en ejercicios de incorporación y de encorvamiento con pies sujetos y no sujetos con rodillas flexionadas y extendidas, encontraron mayor intensidad de contracción en los ejercicios de encorvamiento con rodillas flexionadas y con pies sujetos. A pesar de esto, estos autores recalcan que las diferencias en la contracción de la musculatura flexora de la cadera entre estas dos posiciones de los miembros inferiores no son significativas.

Rectus Femoris- La Ban y Raptou (1965) observaron que este músculo se activó durante todo el recorrido en las incorporaciones con rodillas flexionadas (HSU) sin sujeción. Godfrey y Kingdig (1977) observaron una disminución del tiempo de duración de la actividad de este músculo al ejecutar incorporaciones con rodillas flexionadas (HSU). Guimaraes y Vaz (1991), Basmajian y De Luca (1985), La Ban y Raptou (1965), Ricci y Machetti (1981) no descubrieron diferencias entre las incorporaciones con rodillas flexionadas o extendidas. Esto no ocurrió así en los encorvamientos, ya que con miembros inferiores sujetos y rodillas flexionadas (HCU) se obtuvo mayor intensidad de contracción, que con miembros inferiores sujetos y rodillas extendidas (LCU). Podríamos esperar lo contrario, ya que al flexionar la cadera se acorta el rectus femoris reduciendo su intervención en estos ejercicios (Girardin 1973), pero, al ser el rectus femoris un músculo biarticular, se alarga con la flexión de las rodillas, compensando el acortamiento de la flexión de cadera. En este caso, el músculo iliopsoas es el que se acorta al flexionar la cadera, pero a pesar de esto, la función de ambos músculos es similar durante la ejecución de ejercicios abdominales.

Algunos estudios recomiendan la utilización de encorvamientos de tronco con miembros inferiores flexionados (HCU) por ser idóneos para el fortalecimiento de la musculatura abdominal provocando menor estrés sobre el raquis (Miller y Medeiros 1987, Faulkner y cols. 1989, Richardson y Toppenberg 1990). Sin embargo, Axler y

¹ La descripción de estos ejercicios viene en el Anexo I.

McGill (1997) demostraron que la flexión o extensión de miembros inferiores no influye en la generación de estrés en el raquis lumbar.

Pies sujetos y no sujetos.

Rectus abdominis - Flint (1965), el primero en comparar la variación de la actividad del RA durante la ejecución de incorporaciones con o sin sujeción de pies, observó mayor participación de este músculo en la incorporación ejecutada sin sujeción de pies. Estos resultados fueron ratificados por Lipetz y Gutin (1970), Gutin y Lipetz (1971) ,y Axler y McGill (1997) en los ejercicios de encorvamiento, sin embargo Andersson y cols. (1997) afirmaron que no existieron diferencias significativas. Estudios sobre la duración de la actividad eléctrica (Godfrey y Kingdig 1977) demostraron que ésta, fue mayor, en la fase concéntrica durante la ejecución de incorporaciones con pies sujetos y rodillas flexionadas o extendidas.

Miller y Medeiros (1987) en su estudio justificaron que la sujeción de pies en los ejercicios de encorvamiento se debía eliminar, debido a que facilitaba la activación de la musculatura del iliopsoas (Janda y Schmid 1980). Así, la estabilización del cuerpo en movimientos de encorvamiento (HCU) por medio de una flexión plantar, en lugar de una dorsiflexión, crea una influencia inhibitoria sobre la musculatura del iliopsoas. Esto llevó a Miller y Medeiros (1987) a desarrollar una técnica de enseñanza para ejecutar los encorvamientos (HCU) sin sujeción de pies mediante una estabilización de la pelvis desarrollando la habilidad para coordinar esta estabilización con el movimiento de tronco, aspectos que son fundamentales para el entrenamiento funcional de la musculatura del tronco.

Flexores de la cadera - Flint (1965) no encontró diferencias en la musculatura del iliopsoas al comparar las incorporaciones ejecutadas con y sin sujeción de pies. Lipetz y Gutin (1970), Gutin y Lipetz (1971) y Guimaraes y Vaz (1991) observaron que durante la ejecución de incorporaciones con pies no sujetos disminuyó la actividad del recto femoral. Godfrey y Kingdig (1977) encontraron que la duración de la actividad eléctrica en la fase concéntrica durante la ejecución de incorporaciones con pies sujetos y rodillas flexionadas que cuando se realizaron sin sujeción.

Andersson y cols. (1997) demostraron que la sujeción aumentó la activación de todos los flexores de la cadera (sartorius, iliopsoas y rectus femoris)

Encorvamientos frente a incorporaciones

Rectus abdominis y *obliquus externus* - Ono (1958), Patridge y Walters (1959), Lipetz y Gutin (1970), Gutin y Lipetz (1971) y Gimaraes y Vaz (1991) compararon la actividad eléctrica de RA durante la ejecución de encorvamientos e incorporaciones observando una actividad de este músculo muy similar en ambos ejercicios, aunque al alcanzar los 90° en la incorporación, la actividad del RA y OE disminuyó considerablemente. Flint y Gudgell (1965) también observaron una participación igual de las porciones superior e inferior del RA durante las fases iniciales y finales de los movimientos de incorporación y un decaimiento de esta actividad en la fase central del movimiento. Godfrey y Kingdig (1977) analizaron la duración de la actividad eléctrica del RA y OE durante las fases concéntrica y excéntrica de diferentes incorporaciones a diferentes velocidades, observando una mayor participación de estos músculos durante la flexión de cabeza y cintura escapular o fase concéntrica. El OE participó menos en esta fase concéntrica cuando el movimiento se realizó lentamente. Por otra parte, Halpern y Bleck (1979) compararon varias incorporaciones (HSU, CLSU, CsCU) con un encorvamiento (HCU) observando cómo este último ejercicio fue el que más tiempo mantuvo en actividad la musculatura del RA y del OE en un recorrido menor; un 93% del tiempo total para el encorvamiento frente a un 48% para la incorporación con rodillas flexionadas y un 34% para la incorporación con rodillas extendidas. Así, concluyeron diciendo que los encorvamientos provocaron la mayor activación en el RA y OE, requiriendo una flexión mínima del raquis. De esta forma se hizo patente la poca utilidad de la flexión completa del tronco y cadera para el desarrollo de la musculatura abdominal. Ricci y Machetti (1981) observaron diferencias en la actividad eléctrica del RA y añadieron que este músculo se activaba más durante la ejecución de encorvamientos cuando la flexión de cadera era de 170° a 130°. Monfort y cols. (1997) y Sarti y cols. (1996 a) compararon la actividad media del músculo RA en una incorporación (HSU) y un encorvamiento (HCU) observando una diferencia significativa a favor de la actividad eléctrica provocada durante el encorvamiento. Shirado e Ito (1995) compararon encorvamientos en diferentes posiciones de cabeza (extendida, neutra y flexionada) observando una actividad del RA y OE significativamente mayor en el encorvamiento con flexión de cabeza y estabilización sobre la pelvis. Los estudios más recientes (Andersson y cols. 1997 y Axler y McGill 1997) describieron diferencias significativas entre estos dos ejercicios en todos los músculos flexores del tronco a favor de las incorporaciones pero con mayor fuerza en el músculo OE.

Britten (1980) tras el gran número de autores que indicaban que las incorporaciones no eran adecuadas para medir la resistencia de la musculatura

abdominal debido a la participación de los flexores de la cadera a partir de unos 30° ó 45°, evaluó y propuso el encorvamiento (HCU) como sustituto.

Los estudios que analizan el perfil de la señal electromiográfica o el patrón de actividad en el músculo RA durante la ejecución de ejercicios (Floyd y Silver 1950, Flint 1965, Patridge y Walters 1959, Carman y Blanton 1972 y Sarti y cols. 1996 c) coinciden en que estos patrones de actividad son similares durante la ejecución de un mismo ejercicio, tanto en la porción superior como en la inferior del RA. Sarti y cols. (1996 b y c) profundizaron más en el tema y compararon patrones de actividad en encorvamientos (HCU, PPTC) e incorporaciones (HSU) y observaron una diferencia importante entre ambos patrones. Esta diferencia estuvo en la fuerte disminución de la actividad eléctrica en la fase media del movimiento de incorporación que, según Sarti, pudo ser debida a la inhibición que el iliopsoas provoca sobre el RA al ejecutar acciones antagónicas sobre la curvatura lumbar.

Rectus Femoris- Godfrey y Kingdig (1977) describieron mayor actividad de este músculo durante las fases concéntrica y excéntrica en las incorporaciones HSU y LSU. Ricci y Machetti (1981) vieron que los momentos calculados en la articulación de la cadera durante la ejecución de incorporaciones (HSU, LSU) fueron mayores que durante la ejecución de encorvamientos (HCU), aunque señalaron que este músculo se activaba con una simple flexión de cabeza. Según Ricci y Machetti, estos momentos eran creados especialmente por la musculatura del rectus femoris y otros músculos del muslo. Guimaraes y Vaz (1991) finalmente confirmaron todos los estudios anteriores, al comparar diferentes incorporaciones (HSU, LSU, ISU, VS, CLSU) con un encorvamiento (HCU) y observar menor actividad de este músculo durante la ejecución del encorvamiento.

Iliopsoas. - Flint (1965) observó en las incorporaciones una actividad de ligera a moderada entre 0 y 45° durante la subida y la bajada del tronco, y fuerte en el resto del movimiento. Al comparar la actividad en las incorporaciones y los encorvamientos observó menor intensidad en este último caso, de la misma forma que los estudios de Nachemson y cols. (1966, 1970), Andersson y cols. (1997) y Axler y McGill (1997).

Giro del tronco.

Rectus abdominis y obliquus externus. Ono (1958) y Patridge y Walters (1959) al comparar la actividad de estos músculos durante la ejecución de movimientos con giro de tronco con la de movimientos de tronco en línea recta, observaron un aumento de la actividad de contracción en los movimientos con giro de tronco. Este aumento se

produjo en los músculos del lado hacia el que se ejecutaron los giros (CsSU). Sin embargo, cuando las incorporaciones se ejecutaron sin giro todas las porciones del RA y el OE cesaron su actividad al alcanzar los 90° de flexión del raquis. Flint (1965) halló menor actividad de los músculos del lado contrario al que se ejecutó la incorporación de tronco desde tumbado lateralmente (SLSU), mientras los músculos del mismo lado registraron una gran actividad durante la fase concéntrica. Esta actividad disminuyó durante la fase excéntrica del movimiento, especialmente en el OE. Halpern y Bleck (1979) observaron un ligero aumento de la actividad de esta musculatura durante las incorporaciones con giro. Ekholm y Arborelious (1979) también observaron una mayor actividad del OE durante encorvamientos con giro, y no obtuvo casi intensidad en la contracción de este músculo en los giros resistidos aplicando la resistencia sobre los brazos extendidos hacia arriba. De la misma forma, Moraes y cols. (1995) encontraron una fuerte actividad en el RA en los ejercicios ejecutados con giro, principalmente en el grupo de sujetos deportistas, mientras que la actividad del OE fue más fuerte en el grupo de sujetos no deportistas. Confirmando todo lo anterior, los resultados de Richardson y Toppenberg (1990) compararon diferentes tipos de encorvamientos en línea recta (HCU) ejecutados con y sin resistencia, encorvamientos con giro contra resistencia sobre pelvis y tronco (CPR) y el puente con giro resistido (BPR) observando que los ejercicios que implicaron rotación fueron los más apropiados para activar la musculatura del RI, OE y ES. Axler y McGill (1997) describieron aumentos significativos del músculo OE en los ejercicios ejecutados con giro.

Ekholm y Arborelious fueron los únicos autores que compararon un giro de tronco (IsTR) con otro de pelvis (IsPR), observando una participación mínima del RA durante la ejecución de ambos movimientos y mayor actividad en el OE del mismo lado hacia el que se ejecutó el giro de pelvis. Cuando compararon la actividad del OE durante la ejecución de la rotación isométrica de pelvis (IsPR) con el encorvamiento de tronco con giro (CsCU), la actividad obtenida fue similar.

Variación en la posición del raquis.

Rectus abdominis

Incorporaciones: Gutin y Lipetz (1971) al comparar las incorporaciones de tronco (HSU, LSU) y las incorporaciones con raquis arqueado por extensión (ArBSU) hallaron diferencias en la porción inferior a favor del ejercicio ejecutado con raquis arqueado. Según Gutin y Lipetz, los resultados estuvieron influidos por la falta de control sobre la cadencia de la ejecución de los ejercicios, factor que consideraron de gran importancia

en este tipo de trabajos. Sin embargo, Lipetz y Gutin (1970), los primeros autores que compararon incorporaciones con rodillas flexionadas y extendidas con una incorporación con raquis arqueado, y además controlando el ritmo de ejecución, obtuvieron como resultado mayor intensidad y duración de la contracción tanto en la porción superior como en la inferior del RA en la incorporación con raquis arqueado.

Encorvamientos: Ekholm y Arborelious (1979) compararon un encorvamiento con el tronco extendido 30° (ArBCU) y encorvamientos de tronco con rodillas flexionadas y extendidas (HCU, LSU), esperando, que al estirar el RA generaría mayor tensión, pero esto no fue así. La intensidad de contracción del RI y el OE fue significativamente menor en el ejercicio ejecutado con el tronco extendido que en los otros dos ejercicios. Estos resultados, según Ekholm y Arborelious, podrían estar influidos por problemas en la sujeción de los pies y de la pelvis.

Planos inclinados

Rectus abdominis - Guimaraes y Vaz (1991) no encontraron variaciones en la intensidad de contracción entre las diferentes incorporaciones ejecutadas sobre una superficie horizontal o inclinada (SUHP).

Rectus Femoris- Guimaraes y Vaz (1991) compararon incorporaciones ejecutadas sobre una base horizontal con incorporaciones ejecutadas sobre una tabla inclinada, observando una actividad significativamente mayor sobre tabla inclinada e incluso una actividad comparable con uno de los ejercicios reconocido como de los más intensos, el basket hang (BH). Según los autores, esto pudo ser debido a que el brazo de palanca del tronco en un plano inclinado aumenta hasta alcanzar la horizontalidad.

2.1.2 Ejercicios que movilizan la pelvis y los miembros inferiores.

Inclinación posterior de la pelvis.

Rectus abdominis y *Obliquus* - Flint (1965) observó mayor activación del RI en el ejercicio de inclinación de pelvis PPT al compararlo con el de encorvamiento de tronco. Lipetz y Gutin (1970) calificaron a este ejercicio como un ejercicio que activó la musculatura del RA de forma moderada frente a los ejercicios HSU y LSU. Carman y

Blanton (1972) observaron que el movimiento fue iniciado por el RI y el OE. Richardson y Cols. (1992) hallaron en este ejercicio mayor intensidad de contracción en todos los músculos excepto en el ES. Este aumento fue más importante en el RI.

Sarti y cols. (1996 c) compararon la inclinación de pelvis con rodillas y caderas flexionadas 90° PPTC, con un HCU y un HSU y observaron que el ejercicio HSU fue menos intenso para el RA, y que, en todos los ejercicios, el RS fue mayor que el RI. En el ejercicio PPTC la diferencia entre las dos porciones del RA fue menor, así de 12 sujetos solo 6 obtuvieron mayor actividad del RS en PPTC frente a 11 en el encorvamiento y 10 en HSU. Por otra parte, otros estudios (Walters y Patridge 1957, Flint 1965 y Ricci y Machetti 1990) compararon la inclinación posterior de pelvis en dos posiciones (PPT), de pie y tumbado en decúbito supino, observando una mayor participación de los obliquus y RA en posición tumbada.

Flexión de la cadera. Rodillas flexionadas o extendidas.

Rectus abdominis y *Obliquus* - Patridge y Walters (1959) observaron mayor participación del obliquus externus que del rectus abdominis durante la ejecución de un encorvamiento inverso (RCU), esta diferencia aumentó cuando el ejercicio se ejecutó con rodillas extendidas y caderas flexionadas 90°. Bankoff y Furlani (1984) obtuvieron resultados similares sobre el obliquus externus durante la flexión de cadera llevando miembros inferiores hacia el tronco (RCU), y añadieron que, cuando se ejecutó con sujeción de brazos, la actividad del obliquus externus fue todavía mayor.

Rotación de la pelvis contra resistencia.

Rectus abdominis y *Obliquus* - Ekholm y Arborelious (1979) observaron muy poca actividad del RA en el ejercicio de rotación isométrica de pelvis (IsPR) y una actividad de OE similar a la de los encorvamientos con giro y pies sujetos. Sin embargo Richardson y Toppenberg (1990) observaron una actividad importante del OE, RI y ES frente a una baja actividad del RS durante la ejecución de giros de pelvis resistidos (CPR).

Ejercicios abdominales ejecutados con elevación de los miembros inferiores.

Rectus abdominis y *obliquus externus* - Floyd y Silver (1950) y Sheffield (1962) observaron actividad en estos músculos durante la elevación de los miembros inferiores (DLR) y la justificaron como una labor de fijación de la pelvis. Durante la elevación de

un miembro inferior (LR), Floyd y Silver (1950) detectaron actividad en los obliquus homolaterales. Flint (1965) observó una actividad moderada del RA y fuerte del iliopsoas durante todo el recorrido en la elevación de los miembros inferiores. Guimaraes y Vaz (1991) y Bankoff y Furlani (1984) también observaron, durante la elevación de los miembros inferiores, una actividad moderada en el RI y fuerte en el OE, mientras que durante la elevación de un miembro inferior la actividad fue de ligera a fuerte en ambos músculos. Estas intensidades se pronunciaron cuando el ejercicio se ejecutó con sujeción de brazos. Por otra parte, De Sousa y Furlani (1974) Ono 1958, Basmajian y De Luca 1985, Carman y Blanton 1971 observaron actividad en este músculo al elevar los dos miembros inferiores, pero no al elevar uno. Andersson y cols. (1997) en su estudio observaron una actividad en los músculos RA y OE del 60% del máximo en la elevación de ambos miembros inferiores frente al 10% de la elevación unilateral. Axler y McGill (1997) en la comparación de 12 ejercicios abdominales diferentes observaron que, durante la ejecución de ejercicios de elevación de un miembro inferior con rodilla flexionada o extendida, estos músculos fueron los menos intensos.

Moraes y cols. (1995) estudiaron el RS, RI y OE en niñas de 8 a 10 años y observaron una inactividad de estos músculos en la mayoría de los sujetos durante la ejecución de la elevación de los dos miembros inferiores tanto con rodillas flexionadas como extendidas, independientemente de la altura a la que se elevaron los miembros inferiores.

Los estudios que comparan este ejercicio con otros observan diferencias significativas en el RA. Guimaraes y Vaz (1991), Lipetz y Gutin (1970) y Axler y McGill (1997) al comparar diferentes incorporaciones con la elevación de miembros inferiores observaron que el RA fue significativamente más intenso en las incorporaciones. Esto no fue así cuando la elevación de miembros inferiores se ejecutó desde suspendido de una barra sujetándose con las manos, (BH). Sin embargo, Carman y Blanton (1972) observaron mayor intensidad en la actividad del RA y OE durante la ejecución de la elevación de ambos miembros inferiores que en una inclinación posterior de pelvis.

Flexores de la cadera: Andersson y cols. (1997) describieron altas intensidades de contracción muscular en la elevación de ambos miembros inferiores desde tumbado en decúbito supino. Estas intensidades fueron incluso mayores que las obtenidas con los ejercicios de incorporación con sujeción de pies. En el ejercicio de elevación de un

miembro inferior se activó la musculatura flexora del segmento corporal elevado y el músculo ES contralateral.

2.1.3 Otros ejercicios.

Rectus abdominis y obliquus externus

Floyd y Silver (1950) estudiaron la acción de presionar el abdomen y observaron que la actividad eléctrica en el OE fue mayor que en el RA. Posteriormente, Richardson y cols (1990) calificaron a este ejercicio como idóneo para trabajar la estabilización del raquis lumbar cuando se ejecutó con retroversión de pelvis.

Flint (1965) y Guimaraes y Vaz (1991) clasificaron los ejercicios de incorporación simultánea (VS) y elevación de miembros inferiores desde suspendido de una barra (BH), como los más intensos de los estudiados para la musculatura del RA. Para Gutin y Lipetz (1971) BH fue el más intenso pero no el VS. Para justificar este resultado hicieron referencia a los problemas de equilibrio que tuvieron los sujetos de su estudio en este ejercicio.

Flint (1965) al comparar la actividad del RA y OE provocada por algunos ejercicios específicos de fortalecimiento de la musculatura abdominal (HCU) con la de otros ejercicios donde la musculatura abdominal podría intervenir de forma indirecta, como en los ejercicios de fondos de brazo (PU) pudo observar una actividad moderada del RA en este último ejercicio.

Rectus Femoris

Guimaraes y Vaz (1991) demostraron que la elevación de miembros inferiores desde suspendido de una barra junto con la incorporación y el encorvamiento en un plano inclinado fueron los ejercicios más intensos para este músculo.

2.1.4 Porción superior e inferior del músculo rectus abdominis.

Flint (1965) observó una participación de moderada a fuerte en el RI durante la ejecución de una incorporación con pies no sujetos, y añadió que durante estos movimientos, el RI permaneció inactivo durante la fase media del ejercicio, entre 45° y 60° aproximadamente. Sin embargo, su participación en los movimientos de incorporación realizados con flexión de cabeza y raquis dorsal persistió durante todo el rango de movimiento, aunque con menor intensidad. También vio cómo durante la

ejecución de movimientos con flexión de cabeza y tronco con giro, el patrón de actividad en los músculos RS y RI fue similar, pero el RI presentó una intensidad de actividad eléctrica mayor que el ejecutado sin giro durante los 60° y 90° de flexión de tronco.

Lipetz y Gutin (1970) observaron una actividad media superior al 50% en el RS al compararlo con el RI en todos los ejercicios. Walters y Patridge (1957), Gutin y Lipetz (1971) y Ekholm y Arborelious (1979) observaron que la actividad del RI fue menor en el ejercicio de incorporación convencional (CLSU) y en encorvamientos con tronco extendido 30° que la obtenida en incorporaciones con raquis arqueado y encorvamientos con rodillas flexionadas y pies sujetos.

Guimaraes y Vaz (1991), al comparar RS y RI, también observaron menor actividad en el RI en casi todos los ejercicios que estudiaron (incorporaciones con variaciones LSU, HSU, ISU, VS, CLSU y elevaciones de miembros inferiores DLR, LR. Esto mismo observaron Carman y Blanton (1972) en el ejercicio de PPT. Sin embargo Flint (1965) y Richardson (1990) observaron mayor actividad en el RI durante la ejecución de una retroversión de pelvis (PPT).

Sarti y cols. (1996 b), en un primer estudio, confirmaron los resultados de los estudios anteriores. Se comparó RS y RI en ambos lados del músculo rectus abdominis durante la ejecución de un encorvamiento (HCU), una retroversión de pelvis (PPT) y una incorporación (HSU) en una muestra de sujetos de una población normal, observando mayor activación del RS en todos los ejercicios, especialmente en el encorvamiento y la incorporación. En un estudio posterior (Sarti y cols. 1996 a), matizaron estas diferencias al dividir a los sujetos del estudio según el nivel de actividad física y en función de la ejecución correcta o incorrecta de los ejercicios. Se compararon las dos porciones del músculo RA durante la ejecución de un encorvamiento de tronco (HCU) y otro de pelvis (PPT) en una muestra de sujetos. De ésta forma, los sujetos del estudio fueron divididos en sujetos de alta actividad física y sujetos de baja actividad, y a su vez en buenos y malos ejecutores. Como resultado, se observó que la actividad del RS fue significativamente superior en el ejercicio HCU, sólo en el grupo de buenos ejecutores de alta actividad física. Al comparar estos dos ejercicios en las porciones musculares RS y RI, y observaron una mayor activación del RI ejecutando el ejercicio PPT en el grupo de buenos ejecutores de alta actividad física.

Moraes y cols. (1995) observaron que durante le elevación de los miembros inferiores flexionados, los potenciales de acción en el RS fueron nulos en la mayoría de los casos, mientras que durante la incorporación de tronco sobre el suelo (HSU) y sobre

una tabla inclinada (SUHP) sólo los sujetos deportistas mostraron mayor actividad del RS.

2.1.5 Variación de la velocidad de la ejecución de los ejercicios.

Godfrey y Kingdig (1977) estudiaron el tiempo de duración de la actividad eléctrica del rectus abdominis, obliquus externus y rectus femoris durante las fases concéntrica, isométrica y excéntrica en movimientos rápidos y lentos observando, de forma general, mayor duración de la actividad eléctrica con el aumento de la velocidad de ejecución.

Estudios de Thortenson y cols. (1985) sobre la intensidad muscular, mostraron un aumento en la intensidad del RA y una disminución en la intensidad de los obliquus externus con el aumento de la velocidad de ejecución de los HCU. Según los autores, esto pudo significar que la ejecución de los encorvamientos a alta velocidad provoca reducciones en la actividad de músculos como los obliquus, cuya función es soportar y proteger el raquis.

Monfort y cols, en 1996, estudiaron el efecto de dos tipos de entrenamiento sobre la musculatura del RA, uno fraccionado y otro continuo, ejecutando HCU a distintas velocidades. Como resultado observaron mayor activación de la musculatura del RA con el método fraccionado y durante la ejecución de HCU a alta velocidad. Wohlfahrt y cols. (1993) estudiaron la relación entre la capacidad de los sujetos para ejecutar HCU a diferentes velocidades y la capacidad de los músculos abdominales para promover la estabilización en la región lumbo-pélvica. Para ello, cuantificaron la capacidad de ejecutar HCU a distintas velocidades y evaluaron la capacidad de estabilización con un test de contracción isométrica. Como resultado observaron que un aumento en la capacidad de los músculos del abdomen para ejecutar una función dinámica (un alto número de HCU) afectó positivamente sobre su función estática o estabilizadora; pero cuando el entrenamiento se dirigió hacia un trabajo de velocidad esta capacidad estabilizadora disminuyó. Finalmente, Shirado e Ito (1995) estudiaron la activación del RS, RI y el OE en ejercicios isométricos observando que de la misma forma que mejoran la fuerza isométrica, influyen negativamente en la generación de fuerza rápida.

2.2 ESTUDIOS MECÁNICOS

2.2.1 Ejercicios que movilizan la cabeza y el tronco

Nachemson y Elfström (1970) determinaron, en individuos sanos, las presiones intradiscales a nivel del tercer disco intervertebral lumbar mediante transductores de presión durante la ejecución de distintos ejercicios físicos. Observaron que desde la posición de tumbado en decúbito supino, la elevación de tronco hasta 90° con miembros inferiores extendidos o flexionados (HSU, LSU) produce una presión intradiscal que es el 100% superior a la registrada en postura erecta e igual a la presión registrada durante el manteniendo de una carga de 20kg en cada mano con unos 20° de flexión de tronco en posición de bipedestación. Estos resultados indicaron que durante este tipo de ejercicios se registraron presiones de disco superiores a las registradas en cualquier otro tipo de ejercicio abdominal independientemente de la flexión o extensión de rodillas. White y Panjabi (1990) recomendaron no utilizar el ejercicio de incorporación de tronco (HSU, LSU) con pacientes que sufrieran dolor lumbar.

Neeves y Barlow (1975) determinaron los grados de contribución del músculo iliopsoas y rectus femoris en términos de pico de momento angular y rango de movimiento en ejercicios de incorporación de tronco con rodillas extendidas y flexionadas (HSU, LSU), y demostraron que la posición de rodillas flexionadas aísla el músculo iliopsoas y el rectus femoris reduciendo la magnitud de los momentos que provocan.

Ricci y Machetti (1981) estudiaron los ejercicios de encorvamiento de tronco despegando la escápula (HCU) y en la elevación de tronco a 90° con rodillas flexionadas y extendidas (HSU, LSU). Observaron que en la ejecución del ejercicio de encorvamiento de tronco, cuando el tronco se encontró flexionado 130° se produjo un momento de fuerza sobre la cadera de 80 Nm, mientras que en la flexión de tronco de 90° con miembros inferiores extendidos el momento muscular sobre la cadera fue de 150 Nm. Esto ocurrió así, debido a que el brazo de palanca de los segmentos corporales a movilizar fue menor en los encorvamientos. También demostraron, mediante el análisis de cambios de presión de aire en un balón lumbar, que durante la fase inicial de cualquier ejercicio de fortalecimiento abdominal existió una inclinación pélvica anterior. Ésta llevó a la producción de una contracción excéntrica de los músculos abdominales en respuesta a la extensión del tronco seguida de la contracción concéntrica y a

continuación isométrica para mantenerla. Esto se produjo de forma marcada en el ejercicio de encorvamiento.

En un estudio reciente Axler y McGill (1997) demostraron que los ejercicios de incorporación con rodillas tanto flexionadas como extendidas con sujeción provocaron los mayores índices de compresión en los discos lumbares, mientras que el ejercicio de encorvamiento de tronco fue el que menores índices de compresión provocó.

Estos estudios señalan a los ejercicios de incorporación de tronco como los más peligrosos, ya que fueron los que mayor estrés provocan sobre el raquis lumbar por su alta presión intradiscal y los que mayor momento angular provocan sobre la cadera al activar los flexores de esta articulación. Estos flexores de la cadera podrían ser los responsables de la menor participación de la musculatura RA.

Por otra parte tenemos estudios que analizan cómo se producen estos movimientos sobre las articulaciones del raquis.

Le Veau (1974) estudió los movimientos entre las vértebras lumbares durante los ejercicios de elevación de tronco desde la posición de tumbado en decúbito supino con rodillas flexionadas y extendidas. Observó que los cinco niveles lumbares adyacentes se flexionaron al pasar de la posición de descanso a la de incorporación de tronco próxima a los 90° (HSU, LSU, VS). No indicó ninguna diferencia significativa en cuanto a la posición de los miembros inferiores y concluyó que el eje de movimiento entre las vértebras lumbares no es estacionario cuando una vértebra se desplaza respecto de la otra.

Halpern y Bleck (1979) compararon la flexión del raquis lumbar en los ejercicios de encorvamiento de tronco despegando la escápula (HCU) y de flexión de 90° de tronco con rodillas flexionadas y extendidas (HSU, LSU) mediante radiografías dinámicas. Estos autores describieron cómo la curvatura del raquis varió durante el movimiento. Así vieron que: el eje de movimiento fue variable en todas las vértebras, la flexión de rodillas redujo 6° la lordosis lumbar y el encorvamiento frente a la incorporación redujo 3° la lordosis lumbar. Shirado e Ito (1995) observaron esto mismo en ejercicios de flexión máxima de cuello con estabilización de la pelvis.

2.2.2 Ejercicios que movilizan la cintura pélvica

Nachemson y Elfström (1970) indicaron que en la posición relajada en decúbito supino con caderas y rodillas flexionadas se registró una presión más baja en el disco

intervertebral que en posición erecta. Cuando se ejecutó un encorvamiento de pelvis (PPT) contra resistencia, la presión intradiscal fue mucho menor que durante la ejecución de incorporaciones de tronco. Estos resultados fueron corroborados por el estudio de Axler y McGill (1997).

2.2.3 Ejercicios que movilizan los miembros inferiores.

Nachemson y Elfström (1970) observaron que la presión intradiscal durante la elevación de los dos miembros inferiores con rodillas extendidas desde tendido en decúbito supino (DLR) fue cerca del 50% mayor que en posición de pie. Ricci y Machetti (1981) hallaron en este ejercicio un momento muscular sobre la articulación de la cadera mayor que durante la ejecución de incorporaciones. Axler y McGill (1997) demostraron que junto al ejercicio de encorvamiento de tronco la elevación de un miembro inferior con rodilla flexionada o extendida fueron los que menor índices de compresión provocaron.

Una vez expuestos los resultados sobre los estudios que analizan los ejercicios abdominales presentamos, como resumen, las características metodológicas de los diferentes estudios y las ventajas e inconvenientes de ejecutar diferentes ejercicios abdominales según el conocimiento actual sobre el tema.

3. MÉTODOS DE LOS ESTUDIOS ELECTROMIOGRÁFICOS.

Del estudio detallado de los trabajos experimentales sobre el tema que aquí nos ocupa observamos resultados dispares, esto es debido a las distintas metodologías utilizadas. Estas diferencias dependieron de los factores que analizamos a continuación.

3.1 - POBLACIONES.

Tanto el número de sujetos como los criterios de selección de la población fueron los primeros factores determinantes a tener en cuenta en la interpretación de los resultados de los diferentes estudios. En la tabla 2 se detalla el número de sujetos y el tipo de población de los estudios aquí presentados.

Autor y año	Población
Floyd y Silver 1950	21 (15 v. y 6 m.)
Ono 1958	15 (10 v. y 5 m.)
Patridge y Walters 1959	2 m. entrenadas
Sheffield 1962	10 v.
Flint 1965	3 m. entrenadas
Flint y Gudgell 1965	10 m. entrenadas
La Ban y Raptou 1965	5 v.
Lipetz y Gutin 1970	7 v. entrenados
Gutin y Lipetz 1971	8 v. entrenados
Carman y Blanton 1972	19 sujetos
De Sousa y Furlani 1974	20 v.
Godfrey y Kingdig 1977	17 m.
Halpern y Bleck 1979	5 sujetos
Ekholm y Arborelious 1979	10 m. no deportistas
Ricci y Machetti 1981	4 v. (2 entrenados y 2 no)
Bankoff y Furlani 1984	20 v.
Miller y Medeiros 1987	40 v.
Richardson y Toppenberg 1990	23 (7 v. y 16 m.)
Guimaraes y Vaz 1991	20 v. entrenados
Richardson y Cols. 1992	15 (5 v. y 10 m.)
Wohlfahrt y cols. 1993	38 v.
Gillerd 1994	22 (11 v. y 11 m.)
Shirado e Ito 1995	30 sujetos
Monfort y cols. 1995	---
Moraes y cols. 1995	29 m.
Sarti y cols. 1996 a	33 (20 v. y 13 m.)
Sarti y cols. 1996 b	47 v. entrenados
Sarti y cols. 1996 c	12 (5 v. y 7 m.)
Monfort y cols. 1996	10 sujetos
Monfort y cols. 1997	25 (15 v. y 10 m.)
Andersson y cols. 1997	6 v.
Axler y McGill 1997	9 m.

Tabla 2.: (v) varón, (m) mujer

La mayoría de estudios seleccionaron la población en función de unas características comunes como edad, sexo, pared abdominal definida sin cirugía, con entrenamiento o sin él. Estos estudios aportaron resultados aplicables a una población homogénea como estudiantes de educación física, deportistas de élite, estudiantes de fisioterapia, sujetos sedentarios, etc.

Otro tipo de estudios dividió la población en dos o más grupos en función de una determinada característica, con el objeto de obtener una información más precisa al comparar los resultados entre grupos. Así tenemos los siguientes autores:

Nachemson y Lindh (1969) escogieron sujetos que habían padecido dolor lumbar y sujetos que no lo habían padecido para estudiar su respuesta a los ejercicios de fortalecimiento abdominal.

Ricci y Machetti (1981) dividieron la población en dos grupos: entrenados y no entrenados, sin obtener resultados de interés respecto a esta variación.

Faulkner y Springings (1989) dividieron la población en dos grupos para comparar dos protocolos de medición de la resistencia en la musculatura abdominal.

Sarti y cols. (1996 a) dividieron la población en sujetos de alto nivel de actividad física y sujetos de bajo nivel, observando diferencias en la intensidad de la actividad eléctrica de los músculos estudiados a favor del grupo de bajo nivel. Posteriormente subdividieron la población en buenas y malas ejecuciones, volviendo a encontrar diferencias relevantes.

Miller y Medeiros (1987) quisieron analizar la mejora en la ejecución de encorvamientos inhibiendo el iliopsosas mediante un proceso de enseñanza. Dividieron los sujetos en dos grupos: uno experimental y otro de control.

Moraes y cols. (1995) estudiaron la actividad eléctrica durante la ejecución de ejercicios abdominales en dos grupos de niñas de 8 a 10 años: uno de alto nivel de actividad física y otro de un nivel de principiante.

Monfort y cols (1996) estudiaron el efecto de la variación de la velocidad sobre la intensidad de la actividad eléctrica muscular en la ejecución de ejercicios abdominales en tres grupos de sujetos: uno que ejecutó ejercicios a una velocidad de 3s , otro a 2s y otro a 1s, aplicando dos tipos de entrenamiento, uno fraccionado y otro continuo.

3.2 - PROCEDIMIENTOS.

Otro de los aspectos a tener en cuenta en la interpretación de los resultados de los estudios fue el procedimiento antes y durante la toma de registros electromiográficos. Algunos estudios realizan un trabajo previo a la toma de registros. Este trabajo consiste en la enseñanza y la práctica de la ejecución de los ejercicios que los sujetos deben realizar en el estudio (Floyd y Silver 1950, Ono 1958, Patridge y Walters 1959, Sheffield 1962, Carman y Blanton 1972). Otros estudios especifican su voluntad de que los sujetos no hayan ejecutado previamente los con el objeto de valorar el proceso de aprendizaje ejercicios (Ekholm y Arborelious 1979). Otros no hacen referencia a ningún trabajo previo (De Sousa y Furlani 1974).

Algunos autores remarcan la importancia de una ejecución uniforme en su técnica (Flint 1965, Lipetz y Gutin 1970, Gutin y Lipetz 1971, Godfrey y Kingdig 1977, Guimaraes y Vaz 1991, Richardson y cols 1991 y 1992, Sarti y cols. 1996 a, y Axler y McGill 1997). Andersson y cols. (1997) mencionan que las diferencias terminológicas de los ejercicios, como “curl-up o shoulder sit-up” el mismo ejercicio con dos denominaciones, han llevado a desacuerdos en los resultados

Otro de los problemas de método en estos estudios es el control del ritmo de ejecución de los ejercicios. Son pocos los estudios que mencionan la importancia de una ejecución rítmica (Flint 1965). A principios de las años setenta aparece el primer

estudio que controla el ritmo (Lipetz y Gutin 1970), 6s por repetición. Estudios posteriores ya establecen una ejecución rítmica Sarti y cols. (1996 a), 3s por repetición o Andersson y cols. (1997) 2s para unos ejercicios y 4s para otros. Hay estudios que establecen diferentes tiempos de ejecución para comparar los ejercicios realizados a diferentes velocidades: el estudio de Guimaraes y Vaz (1991) analizó el efecto de la variación del ritmo en dos rangos de tiempo de ejecución, uno de 2,5-2,9s para el lento y otro de 4,9-5,4 s para el rápido. El estudio de Godfrey y Kingdig (1977) establece dos ritmos de ejecución, uno a 60 %s y otro de 120 %s. Wholfahrt y cols. (1993) y Monfort y cols. (1995) controlaron el tiempo de ejecución en encorvamientos a diferentes ritmos, 1 s, 2 s y 3 s para estudiar las diferencias en la activación de diferentes músculos. El estudio de Andersson y cols. (1997) es el único que ha presentado los diferentes ejercicios de fortalecimiento abdominal con un control de la velocidad de ejecución de acuerdo con el rango de movimiento. Los ejercicios de encorvamiento se ejecutaron a 2 s con una amplitud de movimientos de 30° y los ejercicios de incorporación a 4 s con un rango de movimiento para el tronco de 60°.

Algunos autores también hacen referencia a los tiempos de recuperación entre ejercicios para que no aparezca la fatiga y controlar así su influencia en los resultados. Estos tiempos de recuperación varían según autores: para Axler y McGill (1997) de 4 a 6 minutos, para Lipetz y Gutin (1970) y Guimaraes y Vaz (1991) 3 minutos, para Gutin y Lipetz (1971), Godfrey y Kingdig (1977) y Sarti y cols. (1996 a, b y c) 2 minutos, para Richardson y Cols. (1992) y Shirado e Ito (1995) 1 minuto.

Por otra parte, en los diferentes estudios también varía el método utilizado para ordenar la ejecución de los ejercicios según autores. Algunos lo hacen cíclicamente (Godfrey y Kingdig 1977, Sarti y cols. 1996), ordenando los ejercicios de forma que se alternen las cargas, y otros aleatoriamente (Gutin y Lipetz 1971, Halpern y Bleck 1979, Guimaraes y Vaz 1991, Richardson y Cols. 1992, Axler y McGill 1997), evitando las posibles influencias de los ejercicios en la activación de los músculos.

3.3 - TÉCNICAS DE REGISTRO.

La técnica de toma de registros fue otro de los factores a controlar para poder comparar nuestros resultados con los de otros autores. Las variables a tener en cuenta son: tipo de electrodos, su colocación, calibración de la frecuencia y amplitud del registro y aplicación de filtros sobre la señal EMG (Tabla 3).

La colocación y tipo de electrodos determinarán el número de unidades motoras registradas. Los electrodos de profundidad requieren un método invasivo y registran un número fibras musculares muy pequeño, mientras que los de superficie no son invasivos y registran la suma algebraica de los potenciales de acción de todas la unidades motoras activas que existen por debajo del área de detección de los dos electrodos. Así, cuanto mayor sea la separación, mayor será la actividad eléctrica que captaremos, aunque se corre el peligro de poder registrar interferencias causadas por otros músculos cercanos o por la frecuencia cardiaca.

La calibración del aparato nos permitirá dar un valor normalizado de la amplitud de los datos que nos ayudará a interpretarlos.

La frecuencia determinará el número de datos captados en un intervalo de tiempo, determinando así la sensibilidad con la que registra el amplificador del electromiógrafo.

Autor y año	Electrodos	Colocación	Calibración	Filtro (Hz)	Frecuencia
Floyd 1950	Superficie	Floyd y Silver	(V) 500mv x 1cm	--	1cm/s
Ono 1958	Superficie	Floyd y Silver	(V) 500mv x 1cm	--	--
Patridge 1959	Superficie	Patridge	(V) 200mv x 1cm	--	--
Sheffield 1962	Profundidad	Floyd y Silver	100mv x 1cm	--	--
Flint 1965	Profundidad	Flint	max x 1cm	--	1,8cm/s
Lipetz 1970	Superficie	Flint	2mv x 1cm	--	0,5cm/s
Gutin 1971	Superficie	Flint	2mv x 1cm	--	0,5cm/s
Carman 1972	Profundidad	Flint	250mv x 1cm	--	--
De Sousa 1974	Superficie	Floyd y Silver	100mv x 1cm	--	1,5cm/s
Godfrey 1977	Superficie	Flint y Floyd	(V)	--	--
Halpern 1979	Superficie	----	--	--	--
Ekholm 1979	Superficie	Floyd y Silver	--	--	--
Ricci 1981	Superficie	----	1mv x 1cm	--	1cm/s
Bankoff 1984	Superficie	----	--	500-2000	300ms/div
Miller 1987	Superficie	Floyd y Silver	500mv x 1cm	--	200Hz
Richardson 1990	Superficie	Floyd y Patridge	--	--	--
Guimaraes 1991	Superficie	Floyd	(V)	30	1cm/s
Richardson 1992	Superficie	Floyd y Patridge	--	--	--

Musculatura del tronco en ejercicios de fortalecimiento abdominal					Introducción
Wohlfahrt. 1993	Superficie	Floyd y Patridge	--	--	--
Gillerd 1994	Superficie	Floyd y Patridge	--	10-50kHz	1000Hz
Shirado 1995	Superficie	Floyd y Patridge	--	20-500	1000Hz
Monfort 1995	Superficie	Floyd y Patridge	--	20-500	1000Hz
Moraes 1995	Superficie	Floyd	--	200-1000	--
Monfort 1996	Superficie	Floyd y Patridge	--	20-500	1000Hz
Sarti 1996 a	Superficie	Floyd y Patridge	--	20-500	1000Hz
Sarti 1996 b	Superficie	Floyd y Patridge	--	20-500	1000Hz
Sarti 1996 c	Superficie	Floyd y Patridge	--	20-500	1000Hz
Monfort 1997	Superficie	Floyd y Patridge	--	20-500	1000Hz
Andersson 1997	Sup.-Prof.	Floyd y Patridge	--	10-1000	0,5kHz
Axler 1997	Superficie	Floyd y Patridge	--	2.5	1024Hz

Tabla 3:(V) calibración variable en función del músculo estudiado.

El filtro nos permitirá controlar el tipo de señal que llega al electromiógrafo, eliminando señales no propias del músculo estudiado como el ruido creado por otros campos eléctricos.

A continuación presentamos un resumen de estos factores en cada uno de los estudios que hemos tenido en cuenta.

Electrodos de superficie:

Floyd y Silver (1950) y Ono (1958) utilizaron electrodos de superficie de cloruro de plata de 1cm de diámetro. Los electrodos se colocaron en paralelo a las fibras musculares sobre:

- Las porciones superior e inferior del RA, a una distancia media entre el apéndice xifoides y el ombligo, y a 10 cm por debajo del ombligo a la misma distancia de la línea media.

- El OE, sobre la mitad anterior de la cresta ilíaca en línea oblicua, con una separación de 3-5 cm.

- El OI sobre el triángulo limitado por la orilla lateral del la vaina del recto, el ligamento inguinal y la línea que une la espina ilíaca anterosuperior con el ombligo, con una separación de 2,5 cm.

La conexión a tierra se realizó con un electrodo colocado sobre la sínfisis del pubis.

Patridge y Walters (1959) también utilizaron una disposición bipolar en dirección a las fibras musculares con 3 cm de separación; cada electrodo midió 8mm de diámetro.

La piel se preparó frotando vigorosamente con gel para electrodos hasta que se produjo un eritema. Registró la actividad de las fibras anteriores medias y posteriores del obliquus externus según la división de Kendall (1985). Dividió el RA en dos partes, superior e inferior, y colocó los electrodos por arriba y por debajo del ombligo a la misma distancia de éste, procurando que los de las porciones superiores no estuviesen sobre las costillas.

Lipetz y Gutin (1970) utilizaron electrodos de superficie con el mismo método de colocación utilizado por Flint (1965). Los músculos estudiados fueron las porciones superior e inferior del RA. Los electrodos no fueron movidos de su sitio para poder comparar posteriormente las diferentes actividades de los músculos entre los distintos ejercicios. La calibración consistió en dar un valor en el papel de 10 mm a cada 2 μ v de actividad eléctrica. Gutin y Lipetz (1971) utilizaron el mismo método de colocación de electrodos que Flint, pero la sensibilidad del electromiógrafo fue diferente para ambas porciones del RA, 5 μ v por cada 10 mm de papel para la porción superior y 2 μ v por cada 10 mm de papel para la inferior.

Godfrey y Kingdig (1977) utilizaron la metodología de Flint para el obliquus externus y la de Floyd y Silver para el RA con electrodos de 8mm de diámetro y una separación de 2,5 cm.

Halpern y Bleck (1979) y Ricci y Machetti (1981) no especificaron el método seguido para la colocación de electrodos, aunque Ricci y Machetti, hablaron de que los electrodos se separaron 3 cm

Ekholm y Arborelius (1979) utilizaron el mismo método que Floyd y Silver (1950) para la colocación de los electrodos sobre los músculos RA y OE.

Bankoff y Furlani (1984) no explicaron el método de colocación ni referencia alguna, aunque sí especificó una calibración del electromiógrafo con un filtro de 500-2000 μ v en los músculos RA y OE.

Miller y Medeiros (1987) y Guimaraes y Vaz (1991) presentaron de nuevo el mismo tipo de electrodos y colocación que Floyd y Silver (1950) sobre las dos porciones del RA, el OE, el OI y el recto femoral, sólo varió la distancia de los electrodos al ombligo, pasando de 10 cm a 15 cm en un caso y a 6 cm en otro. El electrodo de tierra se colocó sobre la tibia y el filtro del electromiógrafo fue de 30 Hz para todos los músculos. Cada centímetro del papel donde quedó registrada la señal correspondió a 500 μ v para las dos porciones de RA y 100 μ v para el recto femoral.

Richardson y Toppemberg (1990) utilizaron un método para la colocación de los electrodos similar a la de Floyd y Silver (1950) y una preparación de la piel parecida a la de Patridge y Walters (1959). Los músculos estudiados fueron las dos porciones del RA, el OE y el ES. La localización del ES fue al lado de las apófisis espinosas de la 3ª vértebra lumbar y la 1ª sacra. En 1992, Richardson y cols. realizaron otro estudio con el mismo método, pero la colocación de los electrodos del ES en esta ocasión fue al lado de las apófisis espinosas de la 4ª y 5ª vértebras lumbares.

Shirado e Ito (1995) también colocaron los electrodos igual que Floyd y Silver. Sus electrodos fueron de 2,5 cm de diámetro y se separaron 3 cm. El amplificador del electromiógrafo tuvo una sensibilidad de $1\mu\text{v}$, con una frecuencia de muestreo de 1000 Hz y un filtro de 20 a 500 Hz

Guiller (1994), Moraes y cols. (1995) Sarti y cols. (1996) y Monfort y cols. (1996) presentaron preparaciones de la piel y colocación de electrodos como indicaron Patridge, Floyd y Silver. El erector spinae se localizó al lado de las apófisis espinosas de las vértebras lumbares 3ª y 4ª. Moraes utilizó una calibración del aparato de 100 y 200 μv /div, con una velocidad de 10ms/div y un filtro de 1 KHz y 200 Hz, para ambos canales.

Andersson y cols.(1997) estudiaron los músculos RA, OE, OI, rectus femoris y sartorius con EMG de superficie con electrodos Beckman de 4 mm y una distancia entre electrodos de 8 mm.

Axler y McGill (1997) colocaron un total de ocho pares de electrodos en ambos lados del cuerpo sobre los músculos RS, RI, OE, OI con una distribución similar a la indicada por Patridge y Floyd y Silver. También estudiaron la actividad del iliopsoas de forma indirecta con EMG de superficie.

3.4 - TRATAMIENTO DE LOS DATOS.

Los primeros estudios sobre el rectus abdominis (Floyd y Silver 1950, Ono 1958, Patridge y Walters 1959, Flint 1965) compararon la actividad eléctrica de los músculos en diferentes movimientos en razón de las variables de amplitud y frecuencia de la actividad eléctrica cruda registrada, pero no utilizaron métodos estadísticos para extraer resultados, el análisis de los datos fue descriptivo. Flint (1965) utilizó la magnitud de la actividad eléctrica en el tiempo como dato para su estudio, estableció intervalos y les dio un valor sobre un papel cuadriculado de 2 mm. Los intervalos de intensidad de la actividad eléctrica fueron los siguientes: nula 0 cm, ligera 0-2 cm, media 2-6 cm, moderada 6-10 cm, fuerte 10-15 cm. Previamente a la toma de datos, efectuó una

calibración del electromiógrafo mediante una contracción máxima contra resistencia, ajustando en el papel la amplitud máxima conseguida a 1,5 cm. Carman y Blanton (1972), Basmajian y De Luca (1985), Ricci y Machetti (1981), Bankoff y Furlani (1984) y Moraes y cols. (1995), también utilizaron un método similar a éste.

Los primeros autores que aplicaron un tratamiento estadístico para la interpretación de las señales eléctricas durante la ejecución de ejercicios abdominales fueron Lipetz y Gutin, en 1970. Además, también incluyeron en su método de trabajo el control sobre el ritmo de ejecución de cada uno de los ejercicios. Para el análisis de la intensidad eléctrica de los músculos durante la ejecución de ejercicios calcularon la media de los valores de los puntos más altos de la señal eléctrica durante la elevación y descenso del tronco o los miembros inferiores en varias repeticiones de un mismo ejercicio. Como resultado obtuvieron un solo valor para ambas fases del movimiento de todas las repeticiones. Para el análisis de la duración de la actividad eléctrica se calculó el tiempo en que esta estuvo por encima de 1mv de la línea basal, unos 5mm, y se obtuvo un promedio de las diez repeticiones en ambas fases de movimiento. Posteriormente, se aplicó un análisis de varianza para detectar las diferencias menores al nivel $p = 0,01$, tanto en el análisis de la intensidad como en el de la duración de la actividad eléctrica. Tras esto, se aplicó un t-test para determinar dónde estuvieron las diferencias significativas menores al nivel $p = 0,05$. Este tratamiento estadístico fue seguido posteriormente por la gran mayoría de autores pero con pequeñas diferencias (Gutin y Lipetz 1971, Ekholm y Arborelious 1979 y Andersson y cols. 1997).

Godfrey y Kingdig (1977) utilizaron un análisis estadístico similar, pero calcularon tiempos medios de duración de la actividad para la 2ª y 4ª repetición de cada ejercicio. Halpern y Bleck (1979) utilizaron el mismo método que Godfrey y Kingdig, aunque ellos estudiaron el tanto por cien del tiempo que cada músculo actuó en un movimiento.

De Sousa y Furlani (1974) no especificaron el análisis de los datos realizado.

Ekholm y Arborelious (1979) utilizaron un análisis estadístico similar al que Lipetz y Gutin aplicaron para estudiar la intensidad. Tomaron como calibración la media de los potenciales de acción muscular (MAPs) obtenidos durante una contracción isométrica máxima contra una resistencia al ejecutar un encorvamiento de tronco. Para hacer los cálculos estadísticos utilizaron los MAPs de dos repeticiones relativos a la calibración (Wohlfahrt y cols. 1993, Gilleard y Brown 1994, Shirado e Ito 1995).

Richardson y cols. (1990) utilizaron como dato de estudio la raíz media cuadrática (RMS) de la señal electromiográfica cruda, dato sugerido por Basmajian y De

Luca (1985) como el más adecuado, y además el más utilizado, en estudios posteriores, por todas las investigaciones. Con este dato calcularon el coeficiente de variación (CV) para determinar la fiabilidad de los ejercicios ejecutados por los sujetos. Posteriormente, calcularon la media de la actividad eléctrica de cada músculo en 8 repeticiones de cada ejercicio y utilizaron el tratamiento estadístico establecido por Lipetz y Gutin en 1970 con este nuevo valor. En un estudio posterior, Richardson y Toppenberg (1992) utilizaron un método de análisis similar, pero normalizaron la RMS de la señal eléctrica obtenida en cada músculo durante la ejecución de los diferentes ejercicios propuestos con la actividad eléctrica obtenida en un test. Este test consistió en una contracción isométrica máxima voluntaria realizando un giro de tronco desde sentado con el respaldo ligeramente inclinado hacia atrás. El objeto de esta normalización fue reducir las diferencias entre los diferentes músculos analizados en su estudio para poder comparar su actividad. En estudios posteriores, el valor utilizado para normalizar la señal electromiográfica varió. Andersson y cols. (1997) tomaron para cada sujeto y músculo el pico más alto de la señal EMG obtenido durante la ejecución de cualquiera de los ejercicios estudiados. Axler y McGill (1997) tomaron la contracción máxima voluntaria para cada músculo. Sin embargo Sarti y cols. (1996 a) aplicaron este análisis estadístico a la RMS de la señal eléctrica en valor absoluto de cada sujeto, sin normalizar, ya que no se establecieron comparaciones directas entre la EMG de diferentes músculos y sujetos. A este respecto, el estudio de Yang y Winter (1984), en el que se compararon diferentes métodos de normalización, demostró que no existieron grandes diferencias entre estos métodos y la no normalización

4. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LAS DIFERENTES FORMAS DE EJECUTAR EJERCICIOS ABDOMINALES.

4.1 - FLEXIÓN DE LA CABEZA Y DEL TRONCO.

Ventajas en la ejecución de encorvamientos de tronco.(CU)

1º- La limitación del ángulo del movimiento del raquis lumbo-sacro y la no participación de la articulación de la cadera reducen substancialmente la presión intradiscal, y consecuentemente el estrés sobre éste.

2º- La intensidad media de la actividad muscular del RA y OE es similar o mayor que la de otros ejercicios abdominales y mayor que la mayoría de las incorporaciones

(LSU, HSU), a pesar de que los encorvamientos poseen un rango de movimiento mucho menor.

3°- Los valores de algunos parámetros mecánicos como el trabajo, el momento de fuerza y la amplitud de movimiento sobre la articulación de la cadera disminuyen.

4°- El momento de fuerza en la articulación de la cadera es menor que aquellos producidos por otros ejercicios de fortalecimiento abdominal.

5°- La curvatura lumbar se minimiza.

Desventajas en la ejecución de ejercicios de incorporación de tronco a 90°.(CLSU, LSU, CHSU, CsSU)

1°- La presión intradiscal en estos ejercicios es el 100% superior que en posición de pie, y similar a los valores observados en una flexión de 20° de tronco con una carga de 10 kg en cada mano.

2°- La actividad eléctrica muscular no es significativamente mayor que en los ejercicios de encorvamiento.

3°- Favorece la activación de los músculos flexores de la cadera iliopsoas y recto anterior del cuádriceps.

4°- Los músculos RA y OE disminuyen su intensidad de contracción cuando el tronco se flexiona más de 90°.

5°- El momento de fuerza en la articulación de la cadera es mayor que en los encorvamientos.

6°- La flexión lumbar se ve aumentada entre 29° y 38°, tanto con miembros inferiores flexionados como extendidos.

Ventajas en la ejecución de ejercicios con las rodillas flexionadas.

1°- Algunos estudios recientes demuestran que aumenta la intensidad de contracción del RA.

2°- Disminuyen los parámetros mecánicos en la articulación de la cadera.

Ventajas en la ejecución de ejercicios con los pies no sujetos.

1°- Aumenta la intensidad de contracción del RA.

2º- Aumenta la activación de los músculos estabilizadores del raquis, los obliquus.

3º- Disminuye la actividad de los músculos flexores de la cadera.

4.2 - FLEXIÓN DE LOS MIEMBROS INFERIORES O INCLINACIÓN DE LA PELVIS.

Desventajas en la ejecución de incorporaciones inferiores con miembros inferiores extendidos y con sujeción de brazos.

1º- Es el ejercicio que menos activa la musculatura de RA y OE, luego no es el ejercicio más recomendable para fortalecer esta musculatura.

2º- En este ejercicio el psoas actúa provocando un aumento de la lordosis lumbar.

3º- La presión intradiscal aumenta un 50% comparándola con la presión alcanzada en posición de pie.

Ventajas de la ejecución de encorvamientos inferiores.

1º- Los potenciales de acción son similares a los de los ejercicios de encorvamiento de tronco.

2º- Algunos estudios indican que la activación de las diferentes porciones del RA no presenta diferencias en este ejercicio, pero parece que la ejecución de éste activa más el RI que la ejecución de los ejercicios de encorvamiento de tronco.

4.3 - INCORPORACIONES SOBRE PLANOS INCLINADOS.

No presentan diferencias significativas en la intensidad de contracción muscular al compararlos con una incorporación ejecutada sobre un plano horizontal.

5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Revisados los trabajos sobre la participación de la musculatura del tronco en diferentes posturas y ejercicios para el fortalecimiento abdominal observamos resultados variables que, en ocasiones, son difíciles de acotar y comparar dadas las diferencias metodológicas. Por estas razones diseñamos un estudio en el que tratamos de subsanar las deficiencias metodológicas observadas. Con este propósito valoramos con electromiografía de superficie la participación de los músculos rectus abdominis (RA), obliquus externus (OE) y erector spinae (ES) en la ejecución de ejercicios diseñados para el fortalecimiento de la musculatura abdominal.

Para lograr esto nos planteamos los siguientes objetivos:

1º- Validar con electromiografía la distribución de los ejercicios en distintos grupos según las similitudes de su ejecución mecánica.

2º- Determinar la coordinación de la activación de los músculos referidos en cada ejercicio y la dispersión de la respuesta neural de cada uno de los músculos en los ejercicios.

3º- Establecer la gradación de los ejercicios en función de la intensidad de la contracción muscular en cada uno de los músculos estudiados.

4º- Determinar si la intensidad de la contracción de las porciones superior e inferior del músculo rectus abdominis es diferente en la ejecución de ejercicios abdominales.

5º-. Determinar si las diferencias de las variables antropométricas, que relacionan la longitud de tronco y la de miembros inferiores, así como las que relacionan la variación de la curvatura dorso-lumbar entre las posiciones erecta de firme y relajado, influyeron en la intensidad de la contracción de los músculos en los ejercicios.

6°- Determinar si las diferencias de estas variables antropométricas en los sujetos de ambos sexos influyeron en la intensidad de la contracción de los músculos en los ejercicios.

7°- Determinar si la escala de valoración de la percepción del esfuerzo de Borg correlacionó con la intensidad de contracción de los músculos en los ejercicios registrada con electromiografía de superficie.

Método

MÉTODO

1. SUJETOS DEL ESTUDIO

Se estudiaron 46 sujetos (19 mujeres y 27 hombres) de edad, peso y altura promediados (*Tabla 4*).

	n	Edad		Peso		Altura	
		Años	Sd ±	kg	Sd ±	cm	Sd ±
Mujeres	19	20,82	2	56,45	10,05	161,78	2,89
Hombres	27	21,37	2,12	71,51	14,35	174,33	4,73
Total	46	21,16	2,02	65,69	10,15	169,48	3,35

Tabla 4: Valores medios. (Sd) desviaciones típicas. (n) Número de sujetos.

Para la selección de la población, los sujetos voluntarios rellenaron un cuestionario en el que reflejaron los antecedentes y los hábitos en la práctica de ejercicio físico. Se incluyeron en el estudio los sujetos que practicaron actividad física estructurada durante los tres últimos años al menos 1 hora y media, 3 días a la semana¹. Los criterios de exclusión fueron: haber padecido dolor lumbar en los últimos dos años, haber sido sometido a cirugía abdominal previa, haber tenido antecedentes de alteraciones osteomusculares o cardíacas que dificultaran la práctica del ejercicio físico.

A continuación, cada participante realizó los ejercicios bajo la supervisión de dos observadores experimentados (1 y 2) quienes valoraron subjetivamente la ejecución como correcta o incorrecta rellenando una plantilla de observación. Revisada ésta, también se excluyeron del estudio los ejercicios de aquellos sujetos que se evaluaron como de ejecución incorrecta.

2. INSTRUMENTOS Y REGISTROS.

Las mediciones antropométricas de peso se realizaron con una balanza mecánica de 100g de sensibilidad (Figura 3) y las de talla con un tallímetro (Figura 4).

La cadencia de los movimientos se controló con un metrónomo electrónico digital Seiko Dm-10.

¹ La actividad física estructurada consistió en la realización de programas de ejercicio físico aeróbico y anaeróbico.



Figura 3



Figura 4

La actividad eléctrica del músculo se registró con un electromiógrafo “Muscle Tester ME3000” (MT) (Mega Electronics LTD) de dos canales.(Figura 5).

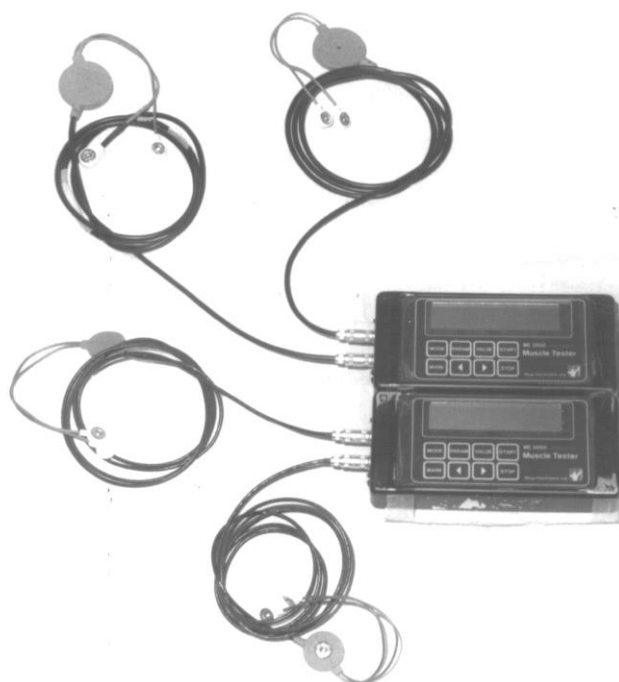


Figura 5

El Muscle Tester ME3000 es un microordenador portátil que registra, amplifica y almacena digitalmente la señal electromiográfica (EMG) sobre una tarjeta de memoria. La sensibilidad del amplificador es de 1 microvoltio con un filtro de banda de 20-500 Hz. Este microordenador convierte la señal analógica en digital y posteriormente la transforma en valores absolutos (full wave rectification). Los valores EMG absolutos son integrados cada 0,1 segundos. La media de la EMG integrada (EMGi) se calcula con la siguiente formula:

$$\frac{1}{t} \int_0^t |EMG(t)| dt$$

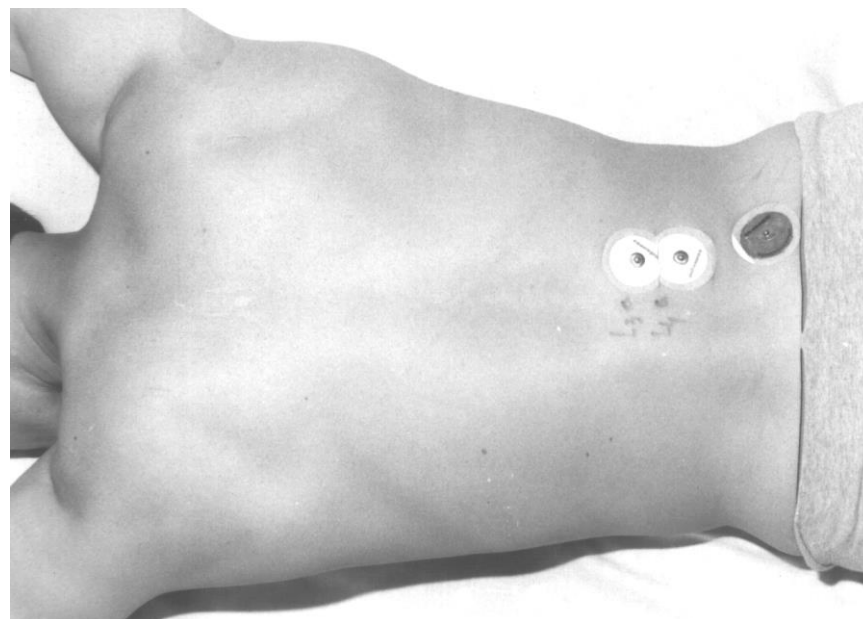
Los datos almacenados en el ME 3000 se transfirieron a través de un cable óptico a un ordenador compatible equipado con una tarjeta ME3001 y el programa informático específico ME 3000 v.1.4.

En este estudio se utilizaron dos Muscle Tester (MT₁ y MT₂). Los registros se realizaron en toma bipolar. Sobre cada uno de los cuatro músculos estudiados se colocó un par de electrodos de superficie (cloruro de plata AgCl) en el sentido longitudinal de las fibras musculares subyacentes a la zona de detección (Clarys y Cabri 1993). La distancia entre el centro de los dos electrodos fue siempre de dos centímetros (Flint 1965). Los electrodos de tierra del MT₁ y MT₂ se colocaron sobre la piel que cubre la espina ilíaca anterosuperior derecha y la cresta media del sacro, respectivamente. Las zonas de la piel donde se colocaron los electrodos se rasuraron, se limpiaron con alcohol y se abrasaron (Patridge y Walters 1959).

Se registraron los músculos del lado derecho del cuerpo. Los lugares de colocación de los electrodos en cada uno de los músculos estudiados fueron en *el Rectus Abdominis* (RA), el centro geométrico de la 2^a y 4^a porción, a tres centímetros de separación de la línea alba (Flint 1965, Patridge y Walters 1959 y Clarys y Cabri 1993). Estas porciones se identificaron por palpación y se topografiaron sobre la piel en sentido céfalo caudal como 1^a, 2^a, 3^a y 4^a desde el proceso xifoideo del esternón hasta la sínfisis del pubis (Figura 6). En el *Obliquus Externus* (OE), se colocaron a 2 cm por debajo del ángulo costal de la 9^a costilla (Flint 1965) (Figura 6) y en el *Erector Spinae* (ES), a nivel de la 3^a y 4^a vértebra lumbar, con una separación de las apófisis espinosas de tres centímetros (Figura 7).

La actividad eléctrica detectada por los dos electromiógrafos fue registrada simultáneamente. Las actividades eléctricas de la porción superior (RS) e inferior (RI) del músculo rectus abdominis se registraron por el canal 1 y 2 del MT₁, y las de los músculo OE y del ES por el canal 1 y 2 del MT₂, respectivamente.

La curvatura dorso-lumbar se determinó con el Lumbar Motion Monitor (LMM) (Figura 9). Este sistema simula el raquis lumbar, y es capaz de estimar instantáneamente su posición en las tres dimensiones del espacio. Consta de dos soportes en sus extremos unidos por cuatro cables. Los soportes se fijan a la espalda a la altura de la 12^a vértebra dorsal (D₁₂) y 1^a sacra (S₁). Cada uno de los cables se sujeta a cuatro potenciómetros en el soporte inferior del exoesqueleto. La señal emitida por estos potenciómetros es transmitida a través de un cable umbilical a un convertidor A/D situado en un ordenador portátil que trabaja a una frecuencia de muestreo de 60 Hz.

*Figura 6**Figura 7*

Para la valoración de la percepción del esfuerzo de cada sujeto en cada uno de los ejercicios, se utilizó la escala denominada índice de ejecución percibida desarrollada por Borg en 1962 y adaptada para este estudio. Ésta consistió en acompañar cada dos números

de una escala de 15 grados con una palabra descriptiva (Tabla 5). La escala estaba comprendida por el intervalo de números del 6 al 20 y fue validada previamente con otra variable fisiológica, la frecuencia cardíaca (Borg 1962).

Nº Sujeto:		Ejercicios								
Grado	Descripción	C1	C2	C3	C4	C5d-i	C6	C7	C8	C9
7	Extremadamente ligero									
9	Muy ligero									
11	Ligero									
13	Ni ligero ni duro									
15	Duro									
17	Muy duro									
19	Extremadamente duro									

Tabla 5: Ejemplo de escala de Borg.

3. PROCEDIMIENTO

3.1 EJECUCIÓN DE EJERCICIOS

Todos los sujetos dispusieron de un periodo de aprendizaje previo a la toma de registros electromiográficos. En este periodo, el experimentador 1 explicó la forma, el ritmo de la ejecución y realizó cada uno de los ejercicios. A continuación, cada uno de los participantes ejecutó los ejercicios bajo la observación del experimentador 1. Cuando fue necesario, en la realización de los ejercicios de mayor complejidad, se ayudó a los sujetos mediante estimulación táctil y propioceptiva de los segmentos corporales a desplazar o de los músculos a contraer.

La ejecución de los ejercicios no fue aleatoria, sino que se siguieron dos criterios:

- La mecánica de los movimientos englobados en el ejercicio.
- La alternancia de las intensidades de las cargas para evitar la fatiga muscular.

Durante la toma de registros EMG cada ejercicio se repitió cinco veces. Entre los distintos ejercicios se dejó un periodo de recuperación de un minuto y entre cada nueve ejercicios 15 minutos. Cada ejercicio se ejecutó a un ritmo constante marcado por un metrónomo (60 sonidos por minuto). Cada repetición duró 3 segundos (1º sube, 2º mantiene la posición y 3º baja). Para facilitar el control del ritmo en la ejecución de los ejercicios, y que ésta fuera lo más homogénea posible en la población, el observador 1 acompañó con su

voz el sonido emitido por el metrónomo con las siguientes instrucciones: arriba uno, mantiene dos, abajo tres.

3.2 MEDICIONES ANTROPOMÉTRICAS.

Para el estudio de las diferencias antropométricas de la población del estudio las mediciones realizadas fueron:

Longitud de miembro inferior-tronco

Para el estudio de estos factores, se seleccionó una muestra de 25 hombres y 17 mujeres de la población que participó en el estudio.

Para determinar la relación entre la longitud de tronco y miembros inferiores el observador 2 determinó en todos los sujetos la altura en posición sedente (A_s) y en posición erecta (A_E) según la técnica de Martín y cols. (1988) (Figura 8). Estas dos alturas se restaron obteniendo la altura subisquiática (A_I). $A_I = A_E - A_s$.

Variación de la curvatura dorso-lumbar en el plano sagital entre las posiciones erecta de firme y relajado.

Para el estudio de esta variable se utilizó una muestra de 16 hombres y 13 mujeres de la población del estudio. El observador 2 marcó en todos los sujetos las dos crestas ilíacas en cada uno de los sujetos de la muestra, en la línea de unión entre ambas se localizó el espacio entre la 3ª y 4ª vértebra lumbar (L3 y L4) y mediante palpación se señaló la 1ª vértebra sacra (S1) y la 12ª vértebra dorsal (D12). La parte superior del LMM se colocó sobre D12 y la parte inferior del mismo sobre S1. A continuación, se le pidió a cada uno de los sujetos de la muestra que mantuviesen la posición erecta de firme durante 5 s (Figura 9A) y seguidamente la posición erecta de relajado durante otros 5 s (Figura 9B)

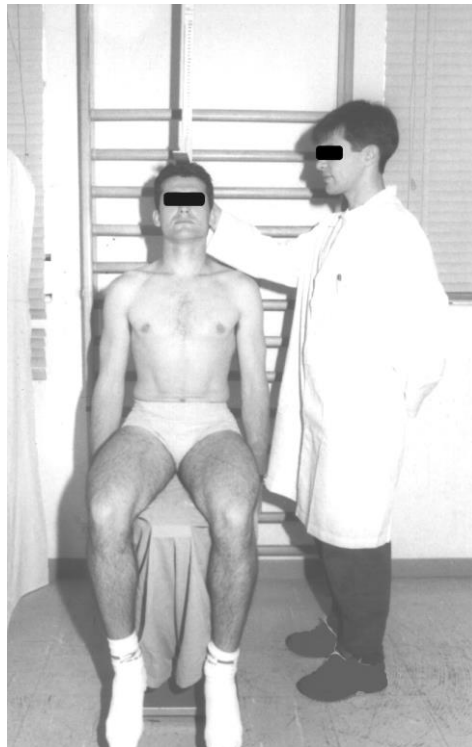
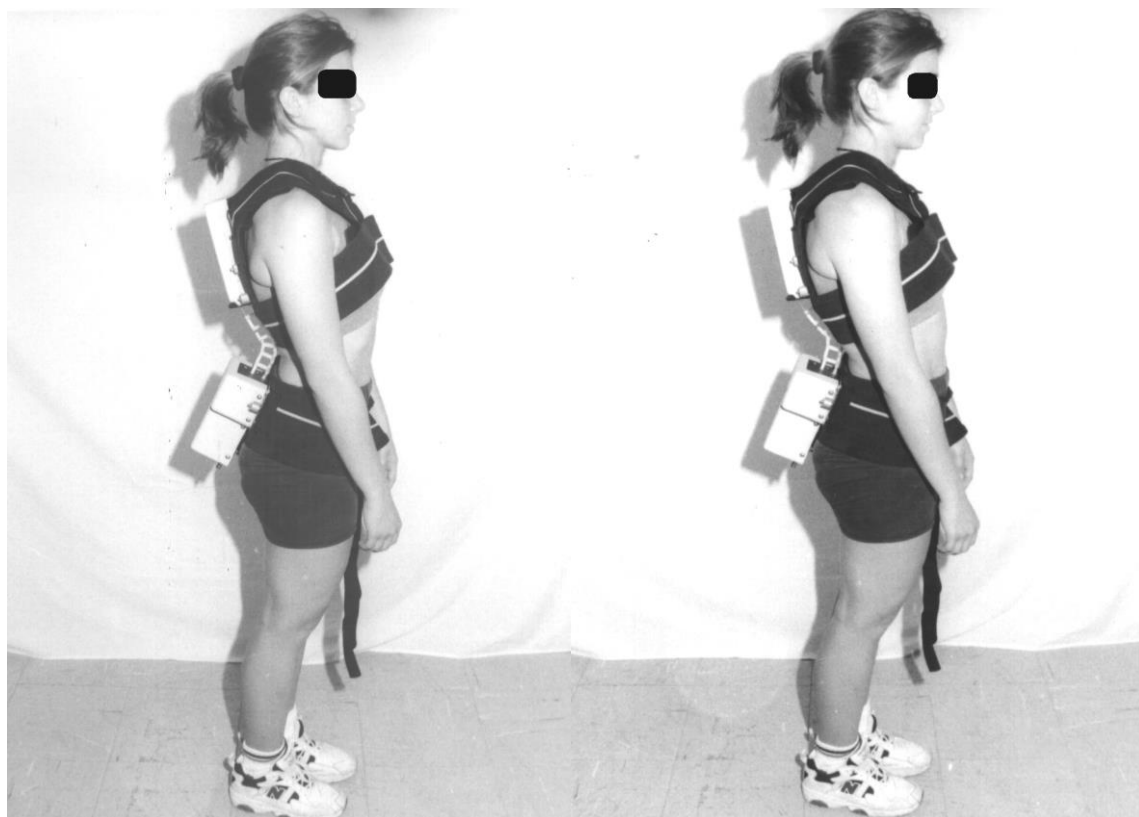


Figura 8



A

B

Figura 9

3.3 VALORACIÓN DE LA PERCEPCIÓN DEL ESFUERZO.

Cada uno de los sujetos de la población completó una encuesta (*Tabla 5*) tras la ejecución de cada uno de los grupos de ejercicios².

4. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.

4.1 ACTIVIDAD ELÉCTRICA.

Para establecer la fiabilidad de cada ejercicio se seleccionó aleatoriamente una muestra de 15 sujetos de la población. Se calculó el t-test y el coeficiente de correlación entre las medias de los potenciales de acción motora (MAPs) de la segunda y tercera inflexión de las cinco del registro EMG obtenidos en cada músculo.

Posteriormente, en la población del estudio, se realizaron los siguientes cálculos:

Para validar la distribución de los ejercicios en los distintos grupos se calculó el coeficiente de correlación en cada sujeto entre los MAPs de la 3ª inflexión de las cinco del registro EMG provocados por los ejercicios de cada grupo en cada músculo, y a continuación con los ejercicios de los diferentes grupos en cada músculo. A continuación, se determinó la coordinación de la actividad eléctrica entre los músculos en cada ejercicio mediante el coeficiente de correlación, y por último la dispersión de la respuesta neural en cada músculo y ejercicio mediante el coeficiente de variación.

Para establecer la gradación de los ejercicios en función de la intensidad de la contracción muscular, se calculó la media de los MAPs de la 3ª inflexión de las cinco del registro EMG provocada por cada ejercicio en cada músculo. A continuación se halló el t-test entre los valores obtenidos en cada músculo con todos los ejercicios de un grupo, y con todos los de los grupos. Con este mismo valor se calculó el t-test entre las porciones superior e inferior del músculo rectus abdominis.

² Ver apartado 5 del método sobre descripción de los ejercicios.

4.2 VARIABLES ANTROPOMÉTRICAS Y DE GÉNERO.

Con el objeto de optimizar los resultados, se trataron las variables antropométricas para distribuir los sujetos de la muestra en razón de las mismas.

Se calculó el valor A, definido por la relación de la longitud tronco y miembros inferiores. Para esto se restó a la altura en posición sedente (A_s) la altura subisquiática (A_i); ($A = A_s - A_i$) y en función de la mediana de los valores de A de la muestra se establecieron dos grupos: A_1 , formado por 29 sujetos (69%) en los que el valor de A fue inferior a la mediana (sujetos con menor diferencia entre altura de tronco y subisquiática) y A_2 , formado por 13 sujetos (31%) en los que el valor de A fue superior a la mediana (sujetos con mayor diferencia entre longitud de tronco y subisquiática).

A continuación se calculó el valor C, definido por la variación de la curvatura dorso-lumbar entre las posiciones erecta de firme y relajado. Para ello se restaron los grados del máximo valor de extensión de cada postura. De la misma forma, en razón de la mediana de estos valores en la muestra se establecieron dos grupos: C_1 , formado por 22 sujetos (76%) en los que el valor de C fue inferior a la mediana (sujetos con menor variación en la curvatura dorso-lumbar) y C_2 , formado por 7 sujetos (24%) en los que el valor de C fue superior a la mediana (sujetos con mayor variación en la curvatura dorso-lumbar).

Por último, para matizar en lo posible el efecto de la antropometría sobre la intensidad de contracción muscular, cada uno de los cuatro grupos anteriores se subdividió en dos atendiendo al género. Como resultado se obtuvo un total de ocho subgrupos (A_{H1} , A_{M1} , A_{H2} , A_{M2} , C_{H1} , C_{M1} , C_{H2} , C_{M2}), (H=hombres, M= mujeres).

SUBGRUPOS	Intervalos (cm)	Nº Sujetos	% Sujetos
A_{H1}	1,5-10,7	19	76%
A_{H2}	10,8-20	6	24%
A_{M1}	6,1-13,8	10	59%
A_{M2}	13,9-21,6	7	41%

Tabla 6 : (A) Subgrupos de variación en la relación de la altura del tronco y subisquiática. (H) hombres, (M) mujeres.

<i>SUBGRUPOS</i>	<i>Intervalos (°)</i>	<i>N° Sujetos</i>	<i>% Sujetos</i>
<i>C_{H1}</i>	1-9,5	13	81%
<i>C_{H2}</i>	9,6-19	3	19%
<i>C_{M1}</i>	0-8,5	9	69%
<i>C_{M2}</i>	8,6-17,1	4	31%

Tabla 7: (C) Subgrupos de las variaciones en la curvatura dorso-lumbar entre dos posiciones. (H) hombres, (M) mujeres.

Para el estudio de la influencia de las diferencias antropométricas y diferencias antropométricas en los dos sexos, se seleccionaron diez ejercicios (C1, C4, C6, C7, S1, S4, S6, S8, S10, I5). Los criterios de selección de los ejercicios fueron la asunción del comportamiento mecánico del aparato locomotor en los movimientos englobados en cada uno de ellos, y la variación en la longitud de las palancas de los segmentos en función de la distancia a la articulación donde se produjo el movimiento. A continuación se realizaron los siguientes cálculos:

Se realizó un ANOVA de dos vías entre los siguientes grupos :

$A_1 \times A_2$

$A_{H1} \times A_{H2}$

$C_{H1} \times C_{H2}$

$C_1 \times C_2$

$A_{M1} \times A_{M2}$

$C_{M1} \times C_{M2}$

Posteriormente, para ver donde estuvieron dichas diferencias, se aplicó un t-test de contraste de medias independientes entre los mismos grupos. Además, en cada uno de los grupos y subgrupos de sujetos, se realizó un t-test de contraste de medias dependientes entre los valores de la EMG de las porciones superior e inferior del músculo rectus abdominis en todos los ejercicios del estudio.

4.3 PERCEPCIÓN DEL ESFUERZO.

Para determinar si existió relación entre la percepción del esfuerzo y la intensidad de contracción muscular en los ejercicios, se calculó el coeficiente de correlación entre la media de los MAPs de la 3ª inflexión de las cinco del registro EMG de la porción superior del músculo rectus abdominis obtenida por todos los sujetos en cada ejercicio y la media de las puntuaciones obtenida en la escala de Borg, por todos los sujetos en cada ejercicio.

La hipótesis nula se rechazó en los niveles de significación del 95% () y 99% (**).*

La denominación de los resultados de los coeficientes de correlación aplicados en este estudio fue la descrita por Morton y Hebel en 1985.

5. DESCRIPCIÓN DE LOS EJERCICIOS

Los ejercicios se distribuyeron en tres grandes grupos atendiendo a tres parámetros: la mecánica de los movimientos, el tipo de movimiento en cada eje espacial de las articulaciones y los segmentos corporales desplazados¹. Así, consideramos:

Encorvamientos:

Todo movimiento corporal que conlleve una flexión de la cabeza, del tronco y cintura pelviana sin flexión activa de la cadera. Este grupo se subdividió en:

Grupo I: Superiores. Toda acción de flexión de cabeza, raquis cervical y dorsal, realizada en sentido céfalo-caudal.

Grupo II: Inferiores. Toda acción de flexión de pelvis y raquis lumbar, realizada en sentido caudo-cefálico.

Incorporaciones:

Todo movimiento corporal que conlleve una flexión de la cabeza, del tronco, cintura pelviana y miembros inferiores con flexión activa de la cadera. A su vez este grupo se subdividió en:

Grupo III: Superiores. Toda acción de flexión de cabeza, raquis cervical, dorsal, lumbar y cadera, realizada en sentido céfalo-caudal.

Grupo IV: Inferiores. Toda acción de flexión de cadera y raquis lumbar realizada en sentido caudo-cefálico.

Isométricos:

Grupo V : Ejercicios que impliquen una contracción muscular que ejerza una fuerza contra una resistencia estática donde la longitud del músculo no varía (Kreighbaum y Barthels 1990).

Encorvamientos

¹ Ver Anexo II

Grupo I: Encorvamientos superiores.**1-. *Encorvamiento del tronco sobre tabla inclinada.* (C1)**

Se parte desde la posición de tumbado en decúbito supino sobre un tabla inclinada 40° respecto de la horizontal. Las rodillas flexionadas a 90°, las plantas de los pies en contacto con la parte alta de la tabla y pies sujetos. Las manos se colocan detrás de la cabeza sin entrelazar los dedos y con las yemas en contacto con la apófisis mastoides. Desde esta posición, el sujeto realiza una flexión de cabeza, raquis cervical y dorsal en sentido céfalo-caudal, dirigiendo la mirada hacia el ombligo y pegando el mentón sobre el esternón hasta que siente que el borde inferior de la escápula se despega del suelo. Tras mantener esta posición el sujeto vuelve a la posición de partida (fig.10).

2-. *Encorvamiento del tronco sobre banco profesional.*(C2)

Se parte desde la posición de tumbado en decúbito supino sobre el banco profesional con una inclinación de tronco de 45° respecto de la horizontal. Las rodillas flexionadas 90° y muslo alineado con el tronco. Las manos se colocarán detrás de la cabeza sin entrelazar los dedos y con las yemas en contacto con la apófisis mastoides; los codos se mantienen en línea con la cabeza para evitar presionar sobre ella. Desde esta posición, el sujeto realiza una flexión de cabeza, raquis cervical y dorsal en sentido céfalo-caudal, mantiene la posición, y vuelve a la posición inicial (fig.11).

3-. *Encorvamiento del tronco con sujeción de los pies.* (C3)

Se parte desde la posición de tumbado en decúbito supino sobre el suelo. Las rodillas flexionadas 90°, pies sujetos por los tobillos y las plantas de los pies en contacto con el suelo. Las manos se colocarán detrás de la cabeza sin entrelazar los dedos y con las yemas en contacto con la apófisis mastoides; los codos se mantienen en línea con la cabeza para evitar presionar sobre ella. Desde esta posición, el sujeto realiza una flexión de cabeza, raquis cervical y dorsal en sentido céfalo-caudal, mantiene la posición y vuelve a la posición de partida. La zona lumbar se mantendrá en todo momento en contacto con el suelo (fig.12).



Figura 10: Ejercicio C1.



Figura 11: Ejercicio C2.

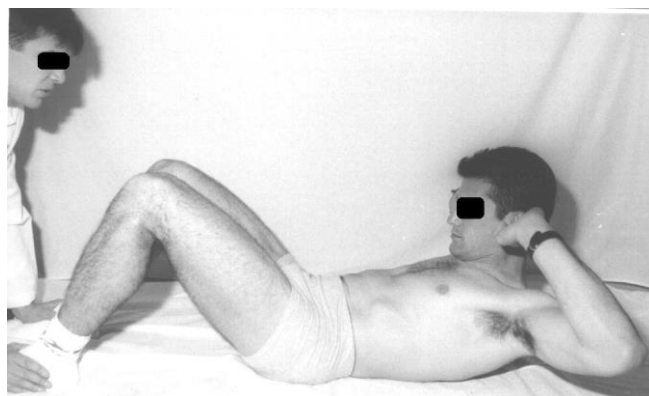


Figura 12: Ejercicio C3.

4-. Encorvamiento del tronco sin sujeción de los pies. (C4)

Se parte desde la posición de tumbado en decúbito supino sobre el suelo. Las rodillas flexionadas 90° y las plantas de los pies en contacto con el suelo. Las manos se colocarán detrás de la cabeza sin entrelazar los dedos y con las yemas en contacto con la apófisis mastoides; los codos se mantienen en línea con la cabeza para evitar presionar sobre ella. Desde esta posición, el sujeto realiza una flexión de cabeza, raquis cervical y dorsal en sentido céfalo-caudal, mantiene la posición y vuelve a la posición de partida. La zona lumbar se mantendrá en todo momento en contacto con el suelo (fig. 13).

5-. Encorvamiento del tronco con giro.(C5d, C5i)

Se parte desde la posición de tumbado en decúbito supino sobre el suelo. Las rodillas flexionadas 90° y las plantas de los pies en contacto con el suelo. Las manos se colocarán detrás de la cabeza sin entrelazar los dedos y con las yemas en contacto con la apófisis mastoides; los codos se mantienen en línea con la cabeza para evitar presionar sobre ella. Desde esta posición, se le indica al sujeto que: ejecute un encorvamiento de tronco según lo descrito, a la vez que lo gira, mantenga la posición y vuelva a la posición de partida. El movimiento se repite cada vez a un lado (fig.14).

Grupo II: Encorvamientos Inferiores.

6-. Encorvamiento de la pelvis suspendido de una barra. (C6)

Se parte de suspendido en el aire mediante el agarre de una barra con las manos. Éstas tienen una separación entre ellas aproximadamente de la anchura de los hombros. Las caderas y rodillas flexionadas más de 90° acercando lo más posible la parte anterior del muslo al abdomen. Desde esta posición, el sujeto realiza un encorvamiento inferior de pelvis, mantiene la posición y vuelve a la posición de partida (fig.15).



Figura 13: Ejercicio C4.



Figura 14: Ejercicio C5d-i.



Figura 15: Ejercicio C6.

7-. Encorvamiento de la pelvis con las rodillas y las caderas flexionadas.(C7)

Se parte desde la posición de tumbado en decúbito supino, con caderas y las rodillas flexionados 90° y los miembros inferiores paralelos al suelo. Las manos se colocaron sobre el vértex con los dedos entrelazados presionando sobre éste, para evitar despegar la cabeza del suelo durante el movimiento. Desde esta posición, el sujeto inicia el movimiento por la cintura pélvica mediante una retroversión o inclinación posterior de pelvis. El miembro inferior se mantiene sin movimiento durante todo el ejercicio. Una vez el sujeto realiza este movimiento, mantiene la posición, y vuelve a la posición de partida (fig.16).

8-. Encorvamiento de la pelvis con las rodillas flexionadas.(C8)

Se parte desde la posición de tumbado en decúbito supino, se flexionan las caderas y rodillas. Estas descansan sobre el tronco en una posición relajada y cómoda. Las manos se colocarán en el vértex, con los dedos entrelazados presionando sobre éste para evitar despegar la cabeza del suelo durante la acción. Desde esta posición, el sujeto realiza un encorvamiento inferior sin ayudarse de la acción de los miembros inferiores, mantiene la posición y vuelve a la posición de partida (fig.17).

9-. Encorvamiento simultáneo del tronco y de la pelvis.(C9)

Se parte desde la posición de tumbado en decúbito supino sobre el suelo. Las rodillas flexionadas con un ángulo de 90° y las plantas de los pies en contacto con el suelo. Las manos se colocarán detrás de la cabeza sin entrelazar los dedos y con las yemas en contacto con la apófisis mastoides; los codos se mantienen en línea con la cabeza para evitar presionar sobre ella. Desde esta posición, el sujeto realiza un movimiento simultáneo de tronco y pelvis según lo descrito, a la vez que presiona con las planta de los pies sobre el suelo, mantiene la posición y vuelve a la posición de partida. El ejecutante debe sentir que el peso del tronco recae sobre la zona lumbar (fig.18) ¹.

¹ Este ejercicio se ha incluido en el grupo II con el objeto de facilitar el tratamiento de los datos.

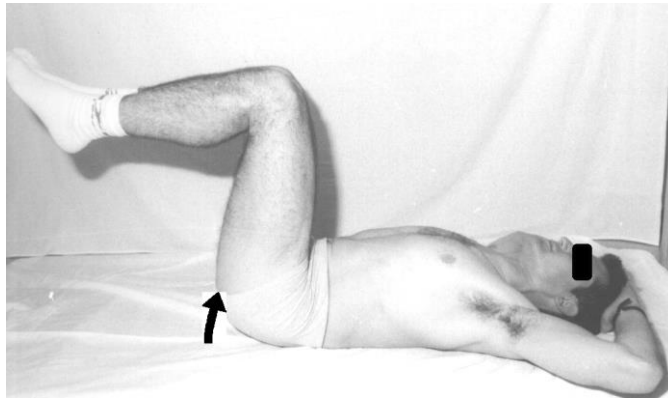


Figura 16: Ejercicio C7.



Figura 17: Ejercicio C8.

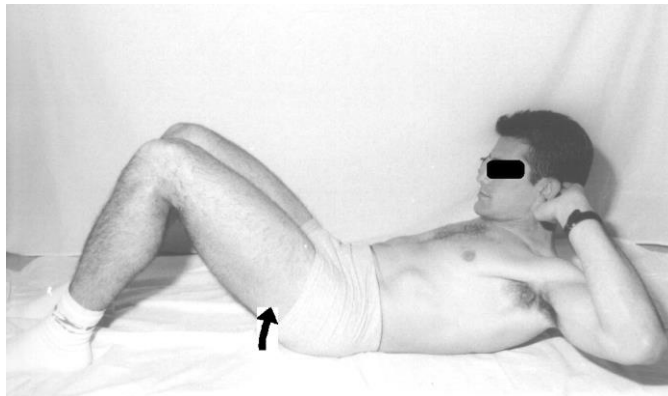


Figura 18: Ejercicio C9.

INCORPORACIONES

Grupo III: Incorporaciones Superiores.

10-. Incorporación del tronco sobre tabla inclinada.(S1)

Se parte desde la posición de tumbado en decúbito supino sobre un tabla inclinada a 40° respecto de la horizontal. Rodillas flexionadas 90° y los pies sujetos en contacto en la parte alta de la tabla. Las manos se colocan detrás de la cabeza sin entrelazar los dedos y con las yemas en contacto con la apófisis mastoides; los codos se mantienen en línea con la cabeza para evitar presionar sobre ella. Desde esta posición, el sujeto aproxima el pecho a las rodillas incorporando el tronco de la tabla, se mantiene arriba y vuelve a la posición inicial (fig. 19).

11-. Incorporación del tronco sobre banco profesional. (S2)

Se parte desde la posición de tumbado en decúbito supino sobre el banco profesional, con una inclinación del tronco de 45° con respecto de la horizontal. Las rodillas flexionadas 90° y muslo alineado con el tronco. Las manos se colocarán detrás de la cabeza sin entrelazar los dedos y con las yemas en contacto con la mastoides; los codos se mantienen en línea con la cabeza para evitar presionar sobre ella. Desde esta posición, el sujeto aproxima el pecho a las rodillas incorporando el tronco del banco profesional, mantiene la posición y vuelve a la posición inicial (fig. 20).

12-. Incorporación del tronco con sujeción de los pies.(S3)

Se parte desde la posición de tumbado en decúbito supino sobre el suelo. Las rodillas flexionadas 90°, pies sujetos y las plantas de los pies en contacto con el suelo. Las manos se colocarán detrás de la cabeza sin entrelazar los dedos y con las yemas en contacto con la mastoides; los codos se mantienen en línea con la cabeza para evitar presionar sobre ella. Desde esta posición, el sujeto aproxima el pecho a las rodillas incorporando el tronco del suelo, mantiene la posición y vuelve a la posición inicial (fig. 21).



Figura 19: Ejercicio S1.



Figura 20: Ejercicio S2.



Figura 21: Ejercicio S3.

13-. Incorporación del tronco sin sujeción de los pies.(S4)

Se parte desde la posición de tumbado en decúbito supino sobre el suelo, las rodillas flexionadas 90° y las plantas de los pies en contacto con el suelo. Las manos se colocarán detrás de la cabeza sin entrelazar los dedos y con las yemas en contacto con la mastoides; los codos se mantienen en línea con la cabeza para evitar presionar sobre ella. Desde esta posición, el sujeto aproxima el pecho a las rodillas incorporando el raquis del suelo, mantiene la posición y vuelve a la posición inicial (fig.22).

14-. Incorporación del tronco con giro.(S5d, S5i)

Se parte desde la posición de tumbado en decúbito supino sobre el suelo. Las rodillas flexionadas 90° y las plantas de los pies en contacto con el suelo. Las manos se colocarán detrás de la cabeza sin entrelazar los dedos y con las yemas en contacto con la mastoides; los codos se mantienen en línea con la cabeza para evitar presionar sobre ella. Desde esta posición, el sujeto aproxima al pecho a las rodillas incorporando el raquis del suelo y girando el tronco para tocar con un hombro en la rodilla contraria, mantiene la posición de giro y vuelve a la posición inicial. El movimiento se repite cada vez a un lado (fig.23).

Grupo IV: Incorporaciones Inferiores.**15-. Incorporación de la pelvis sobre tabla inclinada.(S6)**

Se parte desde la posición de tumbado en decúbito supino sobre una tabla inclinada 40° respecto de la horizontal, rodillas flexionadas 90° y las plantas de los pies en contacto con el suelo en la parte baja de la tabla. Las manos cogidas a la espaldera sujetan el peso del cuerpo. Desde esta posición, el sujeto aproxima las rodillas al pecho flexionando cadera y despegando el raquis de la tabla, mantiene la posición y vuelve a la posición inicial. La cabeza deberá permanecer en contacto con la tabla en todo momento (fig.24).



Figura 22: Ejercicio S4



Figura 23: Ejercicio S5d-i



Figura 24: Ejercicio S6

16-. Elevación de los miembros inferiores 90° despegando sacro.(S7)

Se parte desde la posición de tumbado en decúbito supino, miembros inferiores extendidos. Las manos se colocarán en el vértex con los dedos entrelazados presionando sobre éste para evitar despegar la cabeza del suelo durante la acción. Desde esta posición el sujeto eleva los miembros inferiores extendidos y juntos, despegando el sacro del suelo e impulsando con los pies hacia arriba, mantiene la posición, y vuelve a la posición inicial (fig.25).

17-. Incorporación de la pelvis.(S8)

Se parte desde la posición de tumbado en decúbito supino. Las rodillas flexionadas 90° y las plantas de los pies en contacto con el suelo. Las manos se colocarán sobre la cabeza con los dedos entrelazados presionando sobre ésta para evitar despegarla del suelo durante la acción. Desde esta posición el sujeto aproxima las rodillas al pecho flexionando cadera y despegando el raquis del suelo, mantiene la posición, y vuelve a la posición inicial. La cabeza deberá permanecer en contacto con el suelo en todo momento (fig.26).

18-. La “V” con rodillas flexionadas.(S9)

Se parte desde la posición de tumbado en decúbito supino, rodillas extendidas. Las manos se colocarán detrás de la cabeza sin entrelazar los dedos y con las yemas en contacto con la apófisis mastoides, los codos se mantienen en línea con la cabeza para evitar presionar sobre ella. Desde esta posición, el sujeto eleva simultáneamente el tronco y miembros inferiores hacia el centro del cuerpo con rodillas flexionada, quedando sentado sobre la pelvis sin tocar los pies en el suelo, mantiene la posición y vuelve a la posición inicial (fig.27) ¹.

¹ Este ejercicio se incluyó en el grupo IV para facilitar el tratamiento y análisis de los resultados.

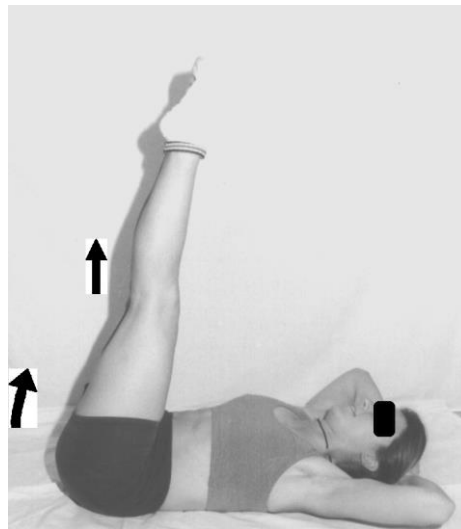


Figura 25: Ejercicio S7.

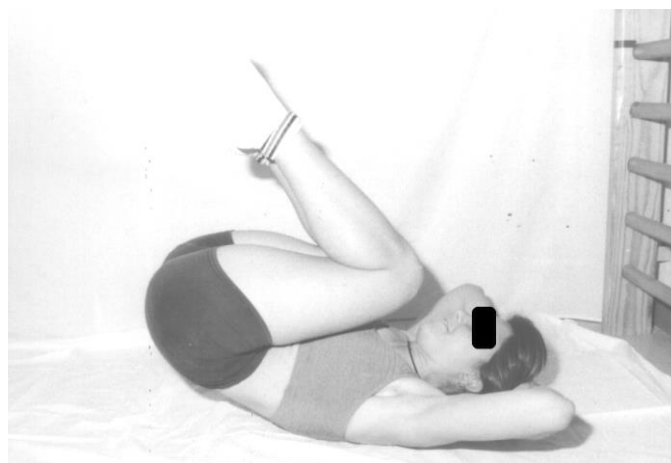


Figura 26: Ejercicio S8.



Figura 27: Ejercicio S9.

19-. La “V” con rodillas extendidas. (S10)

Se parte desde la posición de tumbado en decúbito supino, rodillas extendidas. Las manos se colocarán detrás de la cabeza sin entrelazar los dedos y con las yemas en contacto con la apófisis mastoides; los codos se mantienen en línea con la cabeza para evitar presionar sobre ella. Desde esta posición, el sujeto eleva simultáneamente el pecho y los miembros inferiores hacia el centro del cuerpo, con rodillas extendidas, quedando sentado sobre la pelvis sin tocar con los pies en el suelo, mantiene la posición, y vuelve a la posición inicial (fig.28)¹.

20-. Incorporación y giro de la pelvis con las rodillas flexionadas.(S11d, S11i)

Se parte desde la posición de tumbado en decúbito supino. Las rodillas flexionadas 90° y las plantas de los pies en contacto con el suelo. Se sujeta con las manos de la espaldera. Desde esta posición el sujeto realiza un movimiento de incorporación inferior de tronco iniciando el movimiento por la cintura pélvica mediante una retroversión aproximando las rodillas al pecho a la vez que gira intentando tocar con las rodillas en un lado. La participación de los brazos contrarresta el desequilibrio provocado por el giro. Una vez ejecutado el movimiento, mantiene la posición y vuelve a la posición de partida. El movimiento se repite cada vez a un lado (fig.29).

21-. Incorporación y giro de la pelvis con los miembros inferiores extendidos. (S12d, S12i)

Se parte desde la posición tumbado decúbito supino, miembros inferiores extendidos y brazos sujetos de la espaldera. Desde esta posición, el sujeto realiza un movimiento de aproximación de pies a la cabeza, a la vez que gira intentando tocar con los pies en el suelo a un lado y otro de la cabeza. La acción de los brazos contrarresta el desequilibrio provocado por el giro. Una vez ejecutado el movimiento, mantiene la posición y vuelve a la posición de partida. El movimiento se repite cada vez a un lado (fig.30).

¹ Este ejercicio se incluyó en el grupo IV para facilitar el tratamiento y análisis de los resultados.



Figura 28: Ejercicio S10.

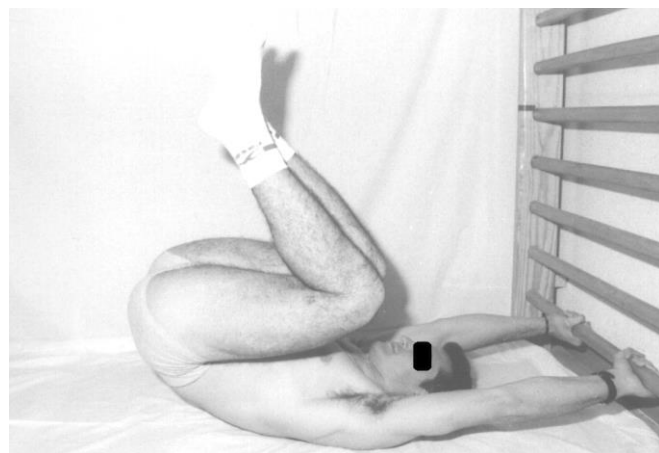


Figura 29: Ejercicio S11d-i.



Figura 30: Ejercicio S12d-i.

ISOMÉTRICOS

Grupo V:

22-. Encorvamiento del tronco con giro resistido.(I1d, I1i)

Se parte desde la posición de tumbado en decúbito supino sobre el suelo. Las rodillas flexionadas 90° y las plantas de los pies en contacto con el suelo. Las manos se colocarán detrás de la cabeza sin entrelazar los dedos y con las yemas en contacto con la apófisis mastoides; los codos se mantienen en línea con la cabeza para evitar presionar sobre ella. Desde esta posición, el sujeto intenta realizar un encorvamiento con giro de tronco. El experimentador presiona al sujeto sobre el hombro de un lado del cuerpo y la rodilla del otro, evitando que se produzca movimiento, el sujeto empuja, mantiene la contracción y se relaja. El movimiento se repite alternativamente a ambos lados (fig.31).

23-. Giro resistido de la pelvis con los miembros inferiores flexionados.(I2d, I2i)

Se parte desde la posición de tumbado en decúbito supino con las rodillas y caderas flexionadas 90° y las manos cogidas de la espaldara. El experimentador sujeta las rodillas evitando que se produzca movimiento. El sujeto intenta llevar las rodillas hacia el suelo, alternativamente hacia ambos lados (fig.32).

24-. Elevación de miembros inferiores hasta 90° sin despegar el sacro.(I3)

Se parte desde la posición de tumbado en decúbito supino con rodillas extendidas. Las manos se colocan en el vértex con los dedos entrelazados, presionando sobre éste, para evitar despegar la cabeza del suelo durante el movimiento. Desde esta posición, el sujeto eleva simultáneamente los miembros inferiores con rodillas extendidas hasta 90° sin despegar el sacro del suelo, mantiene la posición, y vuelve a la posición inicial (fig.33).



Figura 31: Ejercicio I1d-i.



Figura 32: Ejercicio I2d-i.



Figura 33: Ejercicio I3.

25-. Estabilización de la pelvis y del raquis con las rodillas flexionadas. (14)

Se parte desde la posición de tumbado en decúbito supino, con las rodillas flexionadas sobre el tronco en una posición relajada y cómoda. Las manos se colocan en el vértex, los dedos entrelazados presionando sobre éste para evitar despegar la cabeza del suelo durante el movimiento. Se coloca una almohadilla con un indicador de presión bajo la zona lumbar del sujeto y se llena de aire hasta alcanzar 40 mm Hg. Desde esta posición el sujeto debe bajar los talones sin llegar a tocar al suelo, extiende los miembros inferiores y vuelve a la posición inicial manteniendo la presión sobre la almohadilla por encima de 40 mm Hg (fig.34).

26-. Estabilización de la pelvis y del raquis con las rodillas extendidas.(15)

Se parte desde la posición de tumbado en decúbito supino con las rodillas extendidas y caderas flexionadas 90°. Las manos se colocan sobre el vértex con los dedos entrelazados presionando sobre este para evitar despegar la cabeza del suelo durante el movimiento. Al sujeto se le coloca una almohadilla bajo la zona lumbar con un reloj de presión. Una vez colocado en la posición inicial se llenó la almohadilla hasta 40 mm Hg. Desde esta posición, y manteniendo la presión por encima de 40 mm Hg, el sujeto debe bajar los miembros inferiores con rodillas extendidas hacia el suelo sin llegar a tocarlo y volver a la posición inicial (fig.35).

27-. Fondos de brazos.(16)

Se parte desde la posición de tumbado en decúbito prono, el cuerpo totalmente extendido, las manos apoyadas en el suelo en la proyección de los hombros, los dedos mirando hacia delante. Desde esta posición inicial, el sujeto extiende los codos elevando todo el cuerpo como un bloque, mantiene arriba y vuelve a la posición inicial (fig.36).

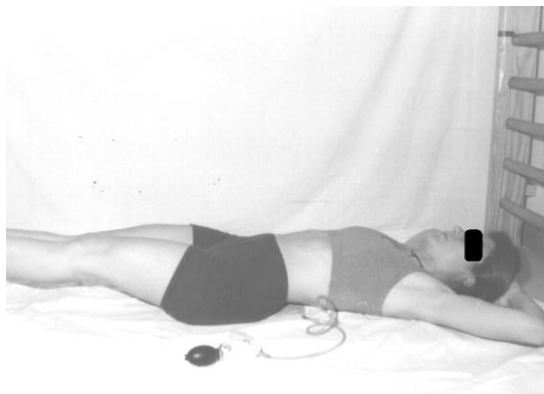
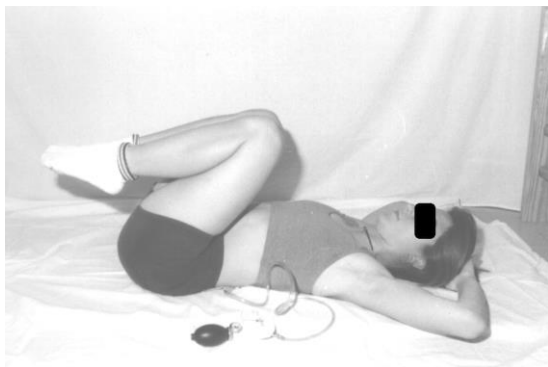


Figura 34: Ejercicio 14.

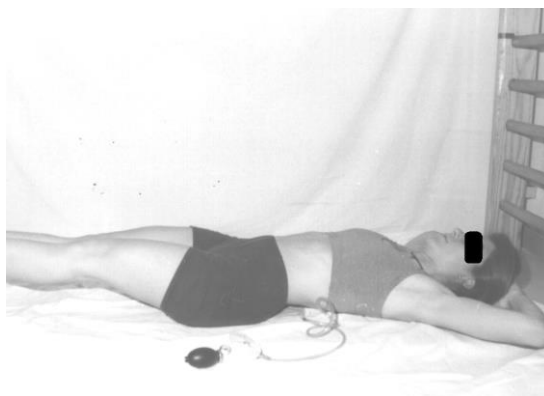
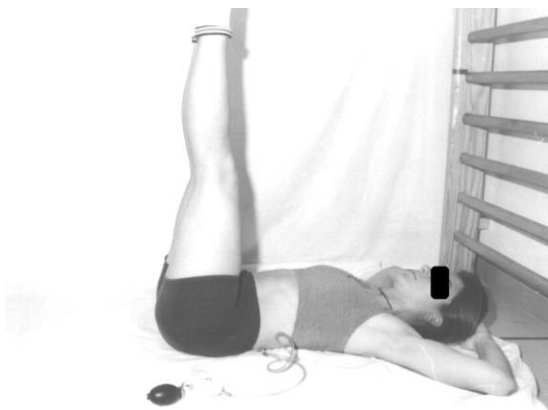


Figura 35: Ejercicio 15.

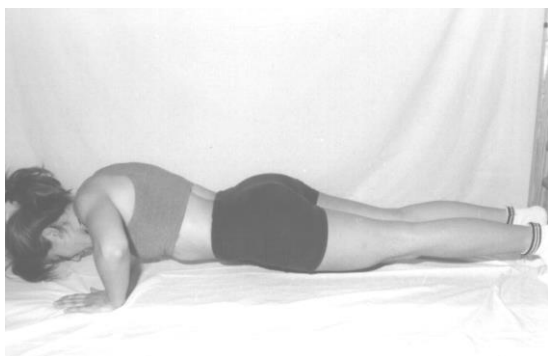


Figura 36: Ejercicio 16.

Resultados

RESULTADOS

1. ACTIVIDAD ELÉCTRICA.

1.1 FIABILIDAD

El alto coeficiente de correlación ($r > 0.7$) y la ausencia de diferencias significativas en el t-test, entre las intensidades medias de contracción muscular, indicaron alta fiabilidad de la mayoría de los ejercicios. En aquellos casos en los que el t-test mostró diferencias significativas, la intensidad de contracción muscular siempre fue mayor en la última de las dos repeticiones del ejercicio. Las tablas 8, 9 y 10 muestran los valores de t y los coeficientes de correlación de estos casos.

Músculos	EJERCICIOS							
	Grupo I				Grupo II			
	C5i		C5d		C9		C6	
r	t	r	t	r	t	r	t	
RS	0,93	-3,14**	---	---	---	---	---	---
RI	0,91	-3,39**	0,95	-2,37*	---	---	---	---
OE	---	---	---	---	0,9	-2,45*	---	---
ES	0,97	-5,05**	---	---	---	---	0,99	-4,30**

Tabla 8: (r) Coeficientes de correlación. (t) t-test. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas.

Músculos	EJERCICIOS									
	Grupo III					Grupo IV				
	S1		S5i		S6		S12i		S12d	
r	t	r	t	r	t	r	t	r	t	
RS	0,96	-2,28**	0,92	-2,34*	0,96	-3,12**	0,95	-2,50*	0,96	-2,75
RI	---	---	0,96	-3,37**	---	---	0,95	-2,22*	---	---
OE	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
ES	0,95	-3,52**	---	---	---	---	---	---	---	---

Tabla 9: (r) Coeficientes de correlación. (t) t-test. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas.

		EJERCICIOS									
		Grupo V									
		I1i		I2i		I2d		I4		I5	
Músculos		r	t	r	t	r	t	r	t	r	t
RS		0,96	-6,65*	0,96	-2,85**	0,95	-3,40**	---	---	---	---
RI		0,68	-3,27**	0,93	-2,84**	0,97	-2,85**	0,83	-2,77**	0,89	-3,41**
OE		0,8	-3,17**	---	---	---	---	---	---	---	---
ES		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Tabla 10: (r) Coeficientes de correlación.(t) t-test. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas.

1.2 AGRUPACIÓN DE LOS EJERCICIOS DINÁMICOS.

El coeficiente de correlación del perfil de la curva de la actividad eléctrica de cada músculo en los ejercicios de cada grupo mostró los siguientes resultados:

- En la ejecución de ejercicios de **encorvamiento** (grupos I y II), una correlación moderada ($r > 0,7$) en el 80-90% de los sujetos para todos los músculos.

- En la ejecución de ejercicios de **incorporación superior** (grupo III), una correlación débil ($r > 0,3$) en el 90% de los sujetos y moderada ($r > 0,5$) en el 80% de los sujetos para todos los músculos.

- En los ejercicios de **incorporación inferior** (grupo IV), una correlación moderada ($r > 0,5$) en el 50% de los sujetos. El otro 50% de los sujetos obtuvo una débil correlación ($-0,3 < r < 0,5$) en todos los músculos. Los coeficientes de correlación más altos de este grupo ($0,7 < r < 0,9$), en el 70 % de los sujetos, fueron los obtenidos entre la actividad eléctrica de los músculos en los ejercicios de incorporación de pelvis sobre banco inclinado (S6) y de incorporación de pelvis sobre una superficie horizontal (S8). Sin embargo, las correlaciones de estos ejercicios con los del resto de su grupo fueron las menores ($r < 0,5$) en el 50% de los sujetos.

El coeficiente de correlación del perfil de la curva de la actividad eléctrica de cada músculo entre los ejercicios de los distintos grupos mostró los siguientes resultados:

- Entre los ejercicios de **encorvamiento e incorporación** la correlación de la actividad de todos los músculos fue débil ($-0,3 < r < 0,3$) en el 70% de los sujetos. La

correlación más débil y negativa ($-0,6 < r < 0$), en todos los músculos, se obtuvo entre los perfiles de las curvas EMG provocados en los ejercicios de encorvamiento y los provocados en los ejercicios de incorporación de tronco sobre banco profesional (S2), sin sujeción de pies (S4) y con la incorporación de pelvis con rodillas extendidas y giro (S10d-i) (Figura 37). La correlación más alta ($r > 0,7$ en el 80% de los sujetos), en todos los músculos, se obtuvo entre los perfiles de las curvas EMG provocados por los ejercicios de encorvamientos y los provocados en los de incorporación inferior de pelvis sobre banco inclinado (S6) y de pelvis sobre una superficie horizontal (S8), (Figura 37).

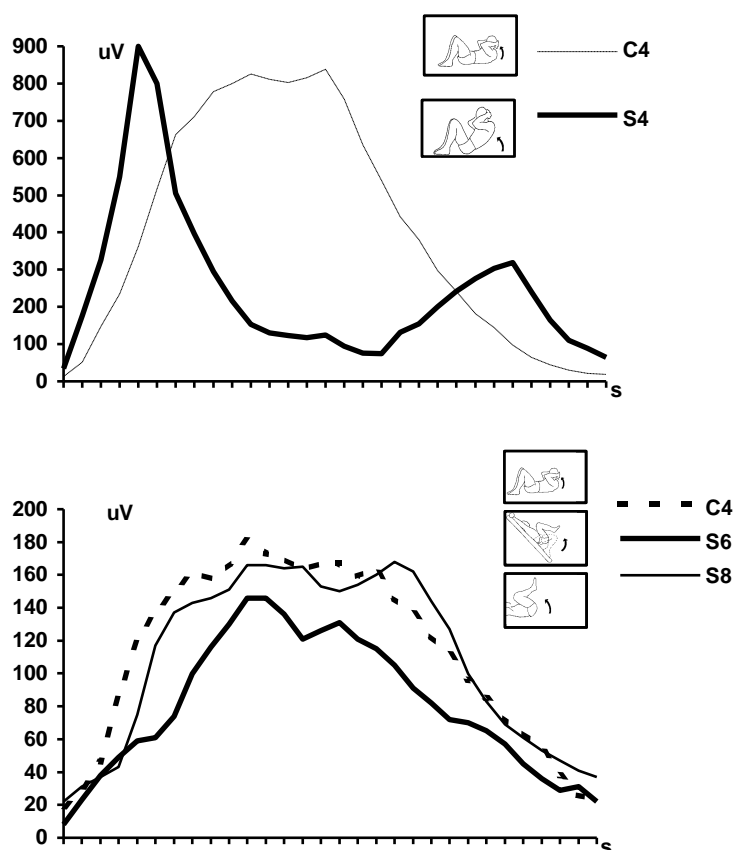


Figura 37: Perfiles de las curvas de EMG de la porción superior del rectus abdominis en los ejercicios: (C4) Encorvamiento de tronco sin sujeción de pies. (S4) Incorporación de tronco sin sujeción de pies. (S6) Incorporación inferior con tronco inclinado. (S8) Incorporación inferior sobre superficie horizontal.

1.3 COORDINACIÓN DE LA ACTIVIDAD MUSCULAR EN CADA EJERCICIO Y DISPERSIÓN DE LA RESPUESTA NEURAL.

En los ejercicios de **encorvamiento** (grupo I y II) la actividad de todos los músculos en cada ejercicio presentó una correlación fuerte ($r > 0,8$) en el 70-100% de los sujetos (figura 38).

En el grupo de ejercicios de **incorporación superior** (grupo III) la correlación entre la actividad del RS y del RI y entre la del OE y del ES (figura 38) fueron superiores a las obtenidas por el RA con el OE y ES (Tabla 11) (figuras 39, 40 y 41).

En el grupo de ejercicios de **incorporación inferior** (grupo IV) las correlaciones entre los músculos de la pared antero-lateral del tronco fueron mayores que la de estos músculos con el ES. (Tabla 11)

	EJERCICIOS			
	Incorporación Superior (G-III)		Incorporación Inferior (G-IV)	
	r	n	r	n
RS-RI	$r > 0,8$	70%	$r > 0,8$	70%
OE-ES	$0,6 < r < 0,9$	70%	$-0,3 < r < 0,8$	80%
RA-OE	$0,3 < r < 0,8$	80%	$r > 0,8$	70%
RA-ES	$0,3 < r < 0,8$	80%	$-0,3 < r < 0,8$	80%

Tabla 11: (r) Coeficientes de correlación. (n) Número de sujetos.

En el grupo de ejercicios **isométricos** (grupo V) la correlación de la actividad entre todos los músculos fue moderada ($r > 0,7$) en el 70% de los sujetos. Los ejercicios de giro resistido de pelvis (I2d-i) y de elevación simultánea de miembros inferiores (I3) presentaron las menores correlaciones en todos los músculos ($-0,3 < r < 0,6$ en el 80% de los sujetos).

El *coeficiente de variación* indicó que todos los músculos del tronco presentaron menor dispersión en la respuesta neural en el grupo de ejercicios isométricos que en el resto de grupos de ejercicios. La variación media de todos los músculos en este grupo de ejercicios estuvo entre el 34% y el 38%. El coeficiente de variación medio en los ejercicios de encorvamiento fue del 46,25%; un 10% mayor que en los isométricos, y del 53% en los ejercicios de incorporación, un 7% mayor que en los encorvamientos.

El RI fue el músculo que presentó menor coeficiente de variación medio de todos los músculos estudiados (39,4%) en todos los ejercicios, siendo el mayor mayor el

obtenido en el ejercicio S5d (63,80%) Los coeficientes de variación medio de los músculos RS, OE y ES en todos los ejercicios fueron 48,8%, 49,2% y 49,4%. Los músculos RS y OE presentaron su mayor índice de dispersión en los ejercicios de incorporación superior ejecutados sobre un plano inclinado (S2) y las incorporaciones superiores sobre una superficie horizontal con y sin sujeción de pies (S3, S4) (70%-75%). El músculo ES presentó el mayor coeficiente de variación en el ejercicio S4 (69,05%).

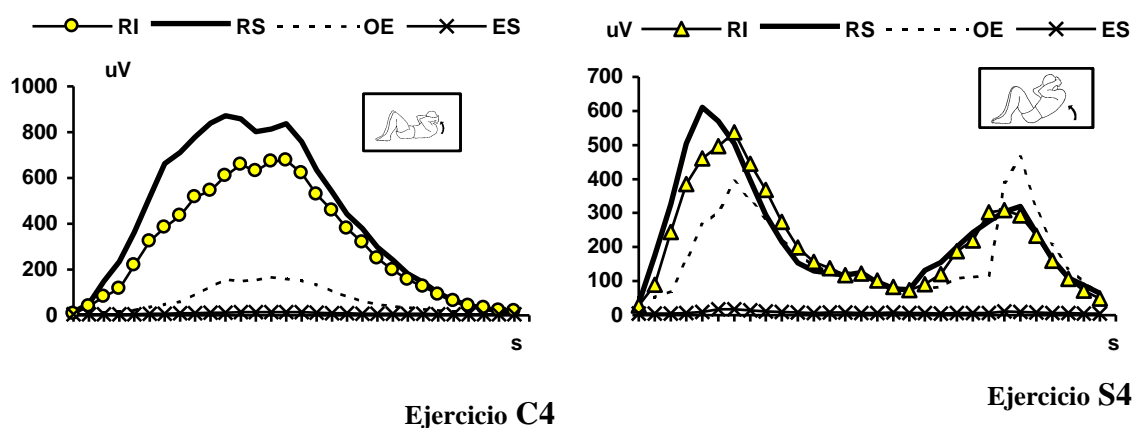


Figura 38.: Perfiles de las curvas de EMG en los ejercicios. (C4) Encorvamiento de tronco sin sujeción de pies. (S4) Incorporación de tronco sin sujeción de pies. Porción superior (RS) e inferior (RI) del músculo Rectus Abdominis. (OE) Obliquus Externus. (ES) Erector Spinae.

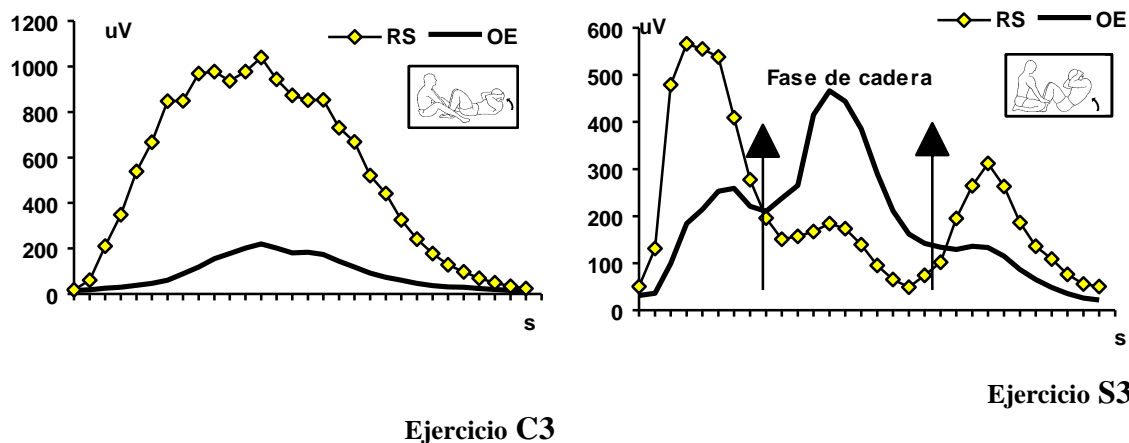
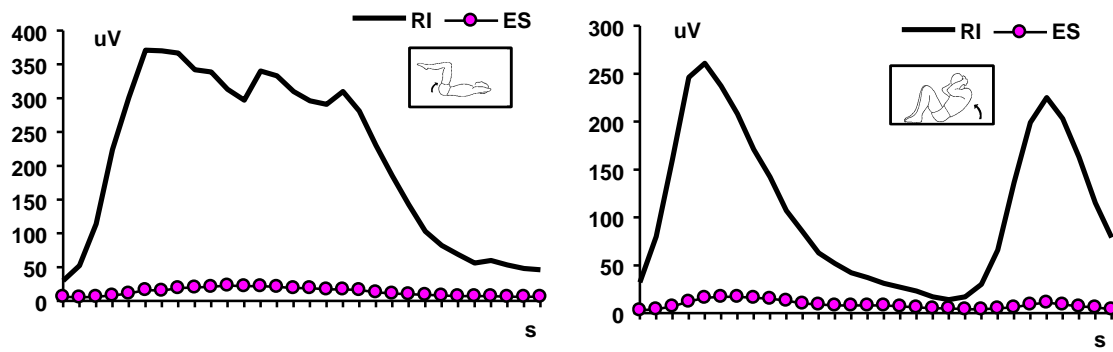


Figura 39: Perfiles de las curvas de EMG en los ejercicios. (C3) Encorvamiento de tronco con sujeción de pies.

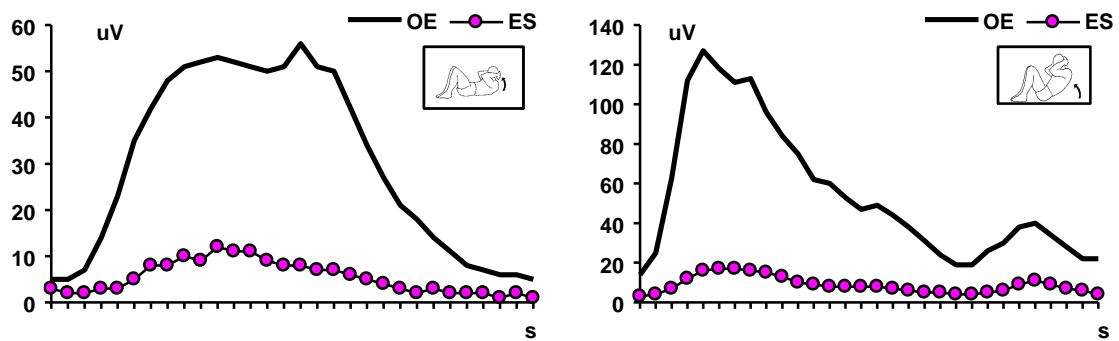
incorporación de tronco con sujeción de pies (S3). Porción superior (RS) del músculo rectus abdominis. (OE) Obliquus externus.



Ejercicio C7

Ejercicio S4

Figura 40: Perfiles de las curvas de EMG en los ejercicios. (C7) Encorvamiento de pelvis. (S4) Incorporación de tronco sin sujeción de pies. Porción inferior (RI) del rectus abdominis. (ES) Erector spinae.



Ejercicio C4

Ejercicio S4

Figura 41: Perfiles de las curvas de EMG en los ejercicios. (C4) Encorvamiento de tronco sin sujeción de pies. (S4) Incorporación de tronco sin sujeción de pies. (OE) Obliquus externus. (ES) Erector spinae.

1.4 GRADACIÓN DE LOS EJERCICIOS

Los resultados del t-test de la media de los MAPs de todos los sujetos en cada músculo mostró la siguiente gradación de los ejercicios.¹

1.4.1 En cada grupo de ejercicios.

Grupo I - Encorvamientos superiores.

La figura 42 presenta la gradación de los ejercicios en función de las intensidades de contracción en cada músculo. La tabla 12 muestra los valores de t.

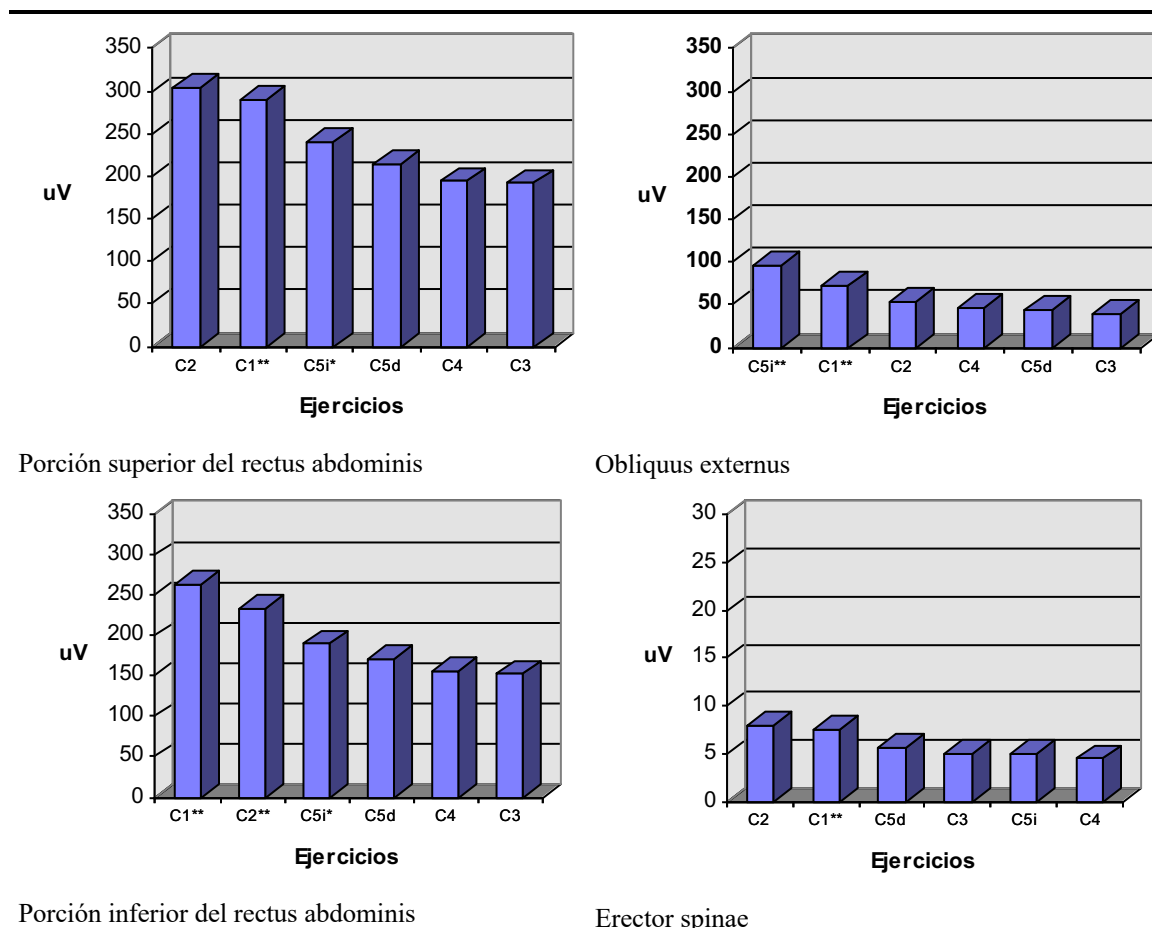


Figura 42: Gradación de los ejercicios de encorvamiento superior. (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$) Diferencias significativas.

¹ En las figuras con las gráficas de la gradación de los ejercicios se marcó con asteriscos el ejercicio que presentó diferencias significativas con el siguiente inferior según el orden representado.

Ejercicios	Músculos			
	RS	RI	OE	ES
C1-C2	---	3.01**	2.85**	---
C1-C3	5.91**	6.98**	4.71**	5.58**
C1-C4	6.59**	6.48**	4.13**	8.26**
C1-C5d	6.07**	5.47**	3.86**	4.85**
C1-C5i	2.79**	4.59**	---	6.68**
C2-C3	6.30**	4.43**	2.35*	2.41*
C2-C4	6.61**	3.83**	3.33**	2.73**
C2-C5d	6.55**	3.63**	---	2.07*
C2-C5i	3.90**	3.07**	-3.75**	2.59*
C3-C4	---	---	---	---
C3-C5d	---	---	---	---
C3-C5i	-2.95**	-2.82**	-4.41**	---
C4-C5d	---	---	---	-4.09**
C4-C5i	-3.41**	-2.34*	-4.27**	---
C5d-C5i	-2.19*	-2.22*	-4.01**	2.55*

Tabla 12: Valores de t. Ejercicios de encorvamiento superior. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas. (---) No diferencias significativas.

Grupo II - Encorvamientos inferiores.

La figura 43 presenta la gradación de los ejercicios en función de las intensidades de contracción en cada músculo. La tabla 13 muestra los valores de t.

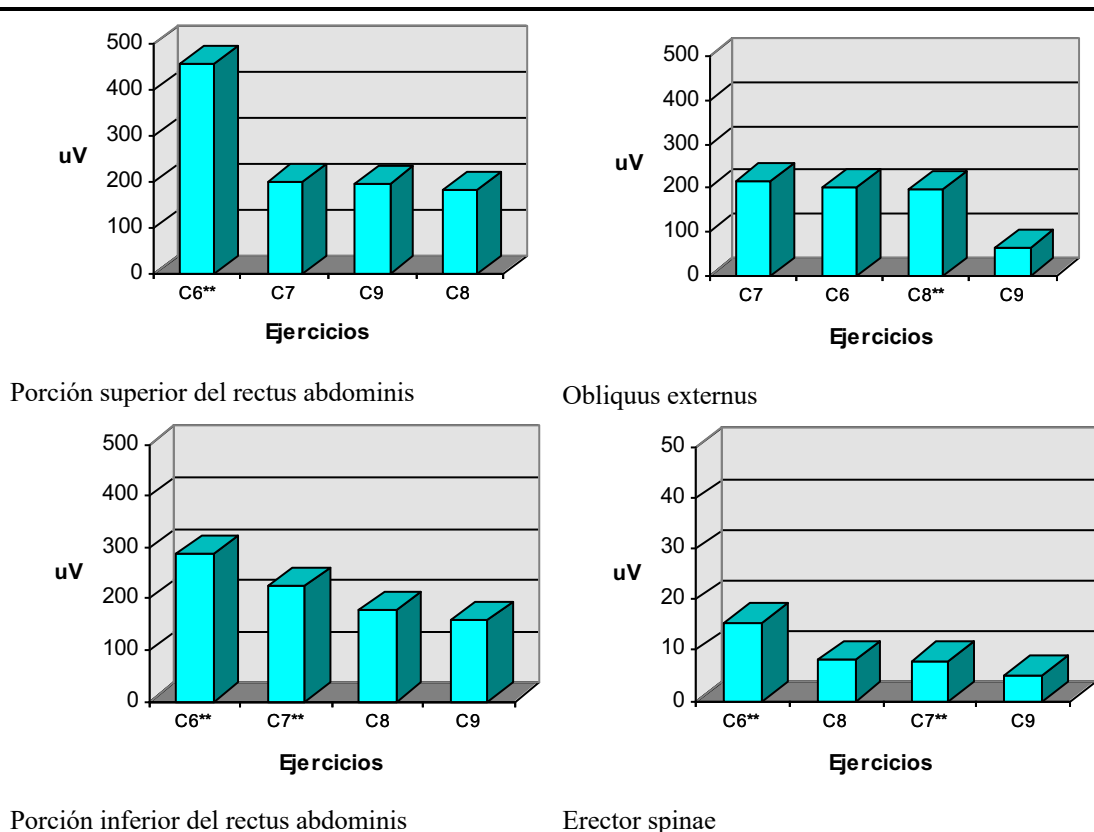


Figura 43: Gradación de los ejercicios de encorvamiento inferior. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas.

Ejercicios	Músculos			
	RS	RI	OE	ES
C6- C7	6.90**	3.51**	---	8.43**
C6- C8	7.30**	5.24**	---	8.56**
C6- C9	7.48**	5.67**	9.81**	10.42**
C7-C8	2.44*	4.46**	2.05*	---
C7-C9	---	4.71**	10.32**	5.40**
C8-C9	---	---	10.84**	5.31**

Tabla 13: Valores de t. Ejercicios de encorvamiento inferior. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas. (---) No diferencias significativas.

Grupo III - Incorporaciones superiores.

La figura 44 representa la gradación de los ejercicios en función de las intensidades de contracción en cada músculo. La tabla 14 presenta los valores de t.

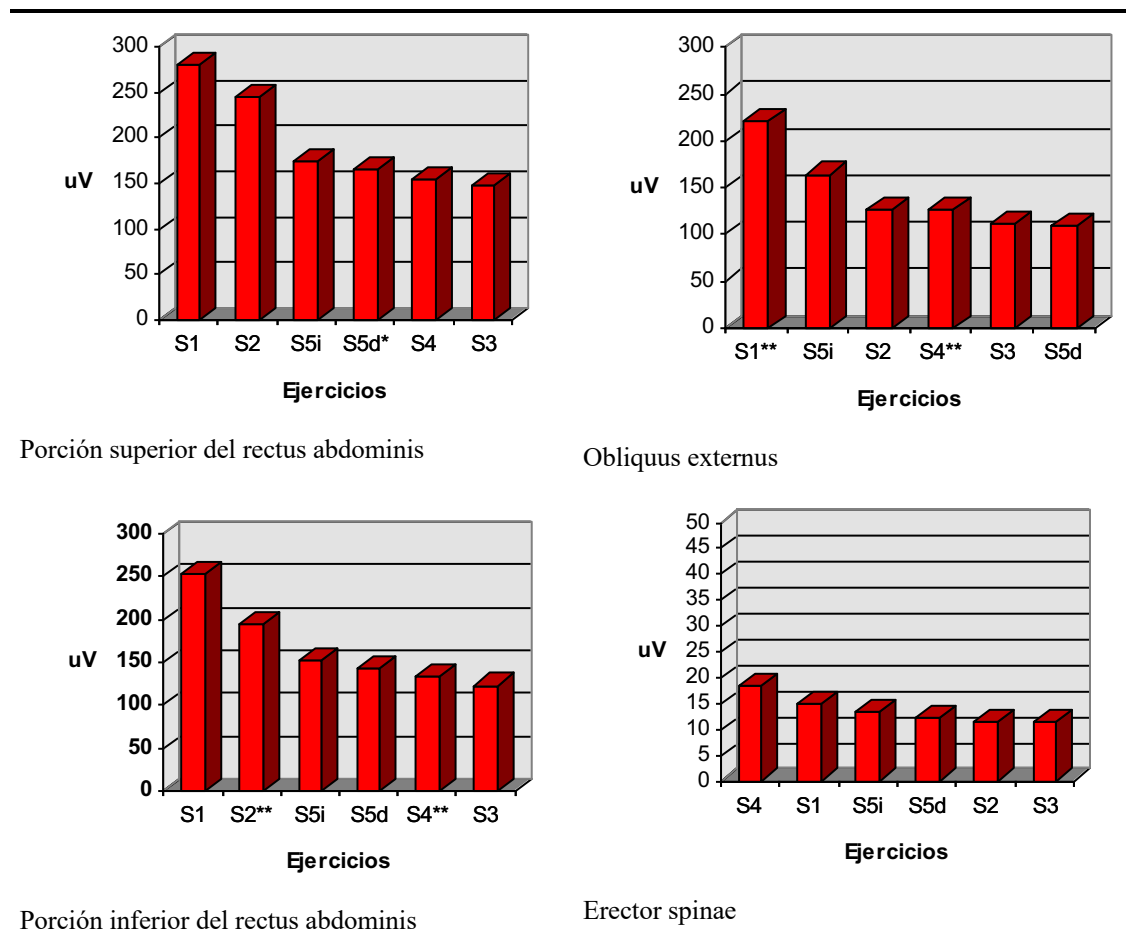


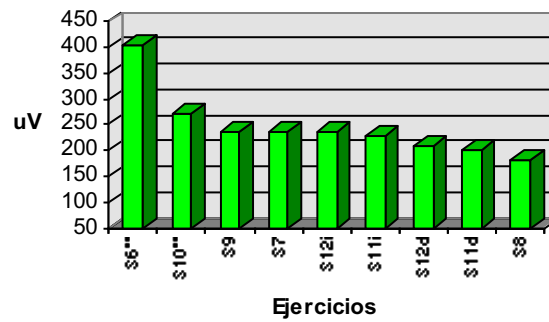
Figura 44: Gradación de los ejercicios de incorporación superior. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas.

Ejercicios	Músculos			
	RS	RI	OE	ES
S1-S2	3.52**	6.46**	9.54**	5.52**
S1-S3	11.05**	9.23**	11.65**	4.49**
S1-S4	12.64**	8.16**	11.53**	---
S1-S5d	10.91**	7.50**	9.38**	2.89**
S1-S5i	8.45**	6.95**	5.07**	---
S2-S3	9.49**	6.23**	3.91**	---
S2-S4	8.74**	5.04**	---	---
S2-S5d	7.75**	4.62**	2.99**	---
S2-S5i	5.92**	3.72**	-4.58**	---
S3-S4	---	-2.81**	-3.45**	---
S3-S5d	-3.00**	-3.90**	---	-2.08*
S3-S5i	-3.47**	-5.26**	-7.91**	-2.89**
S4-S5d	-2.57*	---	2.23*	---
S4-S5i	-3.68**	-3.31**	-6.91**	---
S5d-S5i	---	---	-5.15**	---

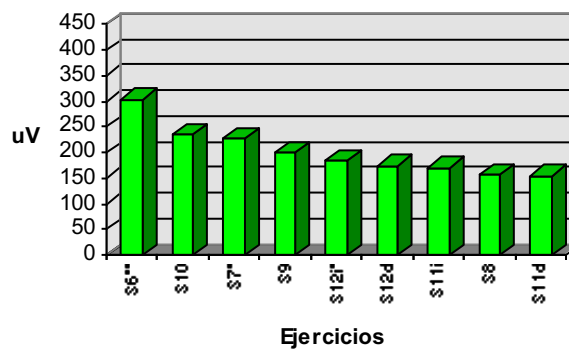
Tabla 14: Valores de t. Ejercicios de incorporación superior. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas. (---) No diferencias significativas.

Grupo IV - Incorporaciones inferiores.

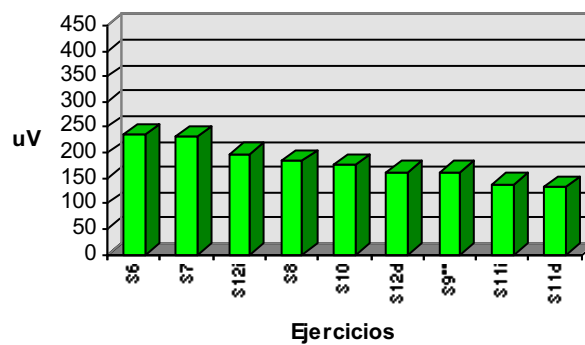
La figura 45 presenta la gradación de los ejercicios en función de las intensidades de contracción de cada músculo. La tabla15 muestra los valores de t.



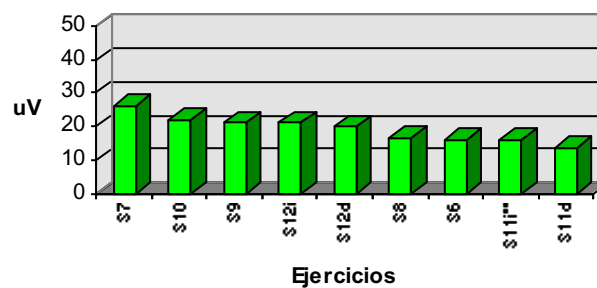
Porción superior del rectus abdominis



Porción inferior del rectus abdominis



Obliquus externus



Erector spinae

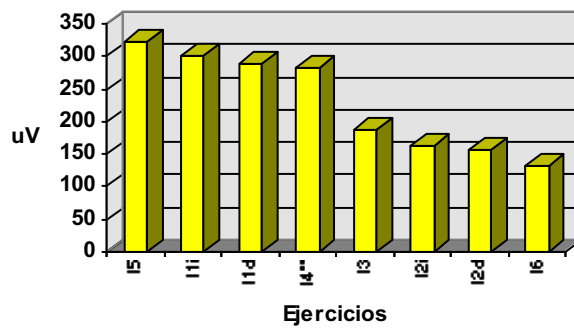
Figura 45: Gradación de los ejercicios de incorporación inferior. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas.

Ejercicios	Músculos			
	RS	RI	OE	ES
S6-S7	5.38**	4.94**	---	---
S6-S8	7.30**	6.80**	4.52**	---
S6-S9	7.28**	4.64**	6.02**	---
S6-S10	5.23**	3.10**	4.03**	---
S6-S11d	7.80**	6.80**	10.19**	---
S6-S11i	6.31**	6.07**	9.03**	---
S6-S12d	7.37**	5.58**	6.99**	-2.31*
S6-S12i	5.83**	4.97**	3.26**	-2.48*
S7-S8	5.12**	6.95**	4.05**	---
S7-S9	---	2.27*	4.10**	---
S7-S10	-2.09*	---	2.74**	---
S7-S11d	2.48*	6.38**	7.60**	---
S7-S11i	---	4.87**	5.87**	---
S7-S12d	---	4.19**	5.24**	---
S7-S12i	---	3.13**	---	---
S8-S9	-3.51**	-3.72**	---	---
S8-S10	-4.85**	-5.44**	---	---
S8-S11d	---	---	4.32**	---
S8-S11i	-3.47**	---	3.34**	---
S8-S12d	---	---	---	---
S8-S12i	-3.46**	-2.54*	---	---
S9-S10	-2.74**	-3.18**	---	---
S9-S11d	-2.41*	-4.73**	-3.03**	---
S9-S11i	--	-2.79**	-2.49**	---
S9-S12d	---	2.56*	---	---
S9-S12i	---	---	-3.24**	---
S10-S11d	3.80**	6.16**	3.30**	---
S10-S11i	2.30*	4.98**	2.77**	---
S10-S12d	3.50**	5.16**	---	---
S10-S12i	---	4.36**	---	---
S11d-S11i	-3.60**	-3.11**	---	-3.20**
S11d-S12d	---	-3.70**	-4.01**	-4.00**
S11d-S12i	-4.24**	-4.60**	-7.09**	-3.36**
S11i-S12d	---	---	-2.81**	-2.69**
S11i-S12i	---	-2.08*	-7.19**	-2.35*
S12d-S12i	-3.92**	-2.27*	-3.59**	---

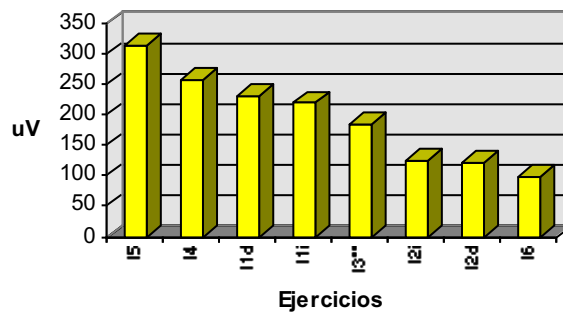
Tabla 15: Valores de t. Ejercicios de incorporación inferior. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas. (---) No diferencias significativas.

Grupo V - Isométricos.

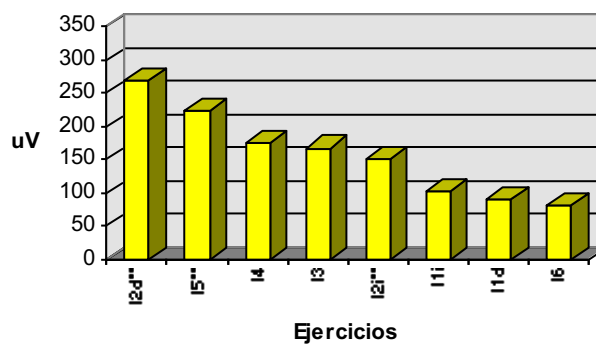
La figura 46 representa la gradación de los ejercicios en función de la intensidad de contracción de cada músculo. La tabla 16 muestra los valores de t.



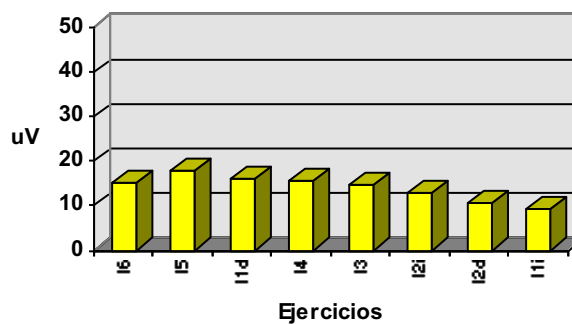
Porción superior del rectus abdominis



Porción inferior del rectus abdominis



Obliquus externus



Erector spinae

Figura 46: Gradación de los ejercicios isométricos. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas.

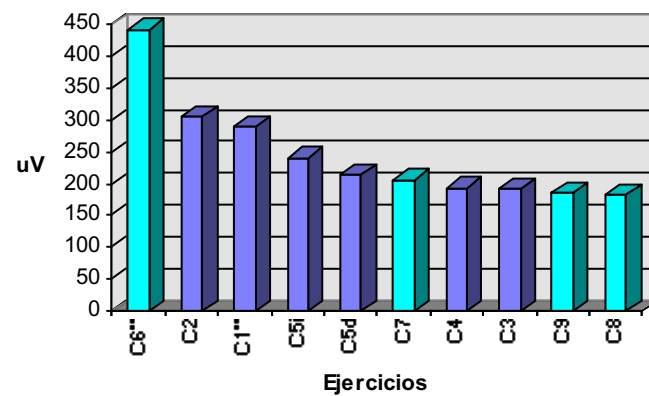
Ejercicios	Músculos			
	RS	RI	OE	ES
I1d-I1i	---	---	---	4.46**
I1d-I2d	5.79**	5.91**	-6.73**	3.61**
I1d-I2i	5.99**	5.80**	-3.46**	---
I1d-I3	4.66**	2.46*	-5.19**	---
I1d-I4	---	---	-3.96**	---
I1d-I5	---	-3.48**	-5.33**	---
I1d-I6	2.75*	2.31*	---	---
I1i-I2d	5.96**	6.39**	-7.11**	---
I1i-I2i	5.79**	5.92**	-3.00**	-4.12**
I1i-I3	4.75**	2.16*	-5.19**	---
I1i-I4	---	-2.65*	-3.97**	---
I1i-I5	---	-3.81**	-5.68**	---
I1i-I6	2.85*	2.48*	---	---
I2d-I2i	---	---	4.25**	-3.11**
I2d-I3	---	-6.89**	5.03**	---
I2d-I4	-5.19**	-8.17**	-4.09**	---
I2d-I5	-6.28**	-8.57**	2.15*	---
I2d-I6	---	---	3.94**	---
I2i-I3	---	-5.44**	---	---
I2i-I4	-5.19**	-6.93**	---	---
I2i-I5	-6.37**	-7.58**	-3.78**	---
I2i-I6	---	---	---	---
I3-I4	-5.56**	-5.48*	---	---
I3-I5	-3.00**	-6.65**	-4.05**	---
I3-I6	---	---	3.10**	---
I4-I5	-2.15*	-2.31*	-3.94*	---
I4-I6	-1.97*	2.45*	4.51**	---
I5-I6	2.68*	3.15**	3.82**	---

Tabla 16: Valores de t. Ejercicios isométricos. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas. (---) No diferencias significativas.

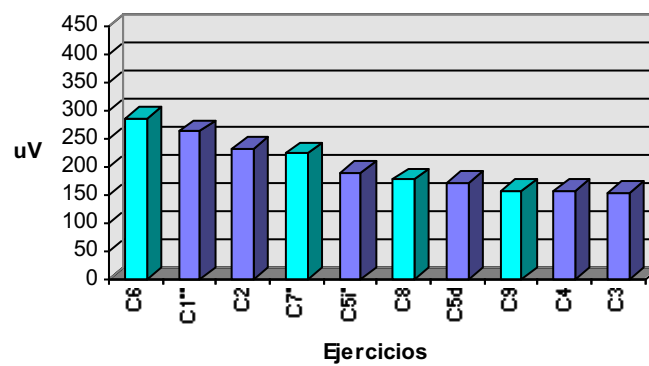
1.4.2 Entre parejas de grupos de ejercicios.

Grupo I - Grupo II. Encorvamiento superior frente a inferior.

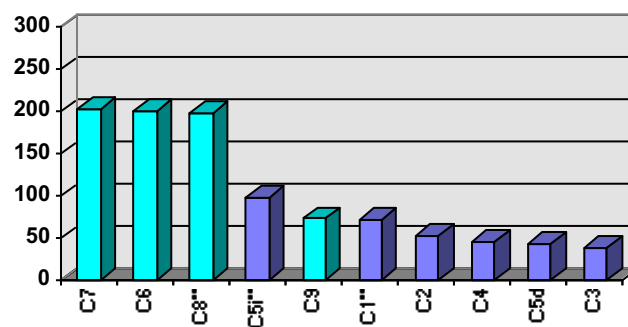
La figura 47 presenta la gradación de los ejercicios de los dos grupos en función de la intensidad de contracción de cada músculo. La tabla 17 muestra los valores de t.



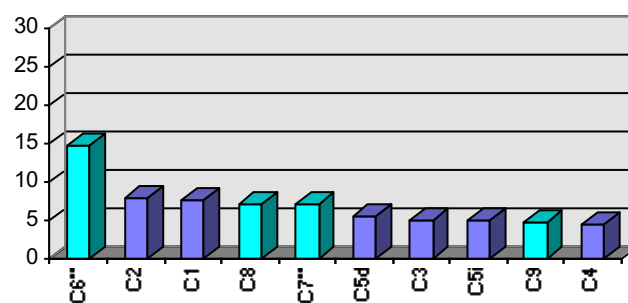
Porción superior del rectus abdominis



Porción inferior del rectus abdominis



Obliquus externus



Erector spinae

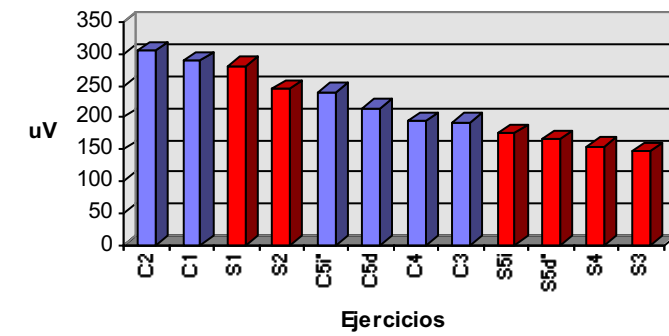
Figura 47: Gradación de los ejercicios en los grupos de **encorvamiento superior e inferior**. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas.

Ejercicios	Músculos			
	RS	RI	OE	ES
C1-C6	-3.95**	---	-9.28**	-7.94**
C1-C7	4.86**	2.52*	-7.24**	---
C1-C8	6.12**	4.94**	-6.28**	---
C1-C9	6.75**	6.10**	---	6.12**
C2-C6	-3.36**	-3.15**	-11.82**	-6.46**
C2-C7	5.46**	---	-8.83**	---
C2-C8	6.02**	2.94**	-7.88**	---
C2-C9	6.78**	4.33**	---	2.46*
C3-C6	-6.94**	-5.49**	-11.80**	-9.80**
C3-C7	---	-4.40**	-8.89**	-4.65**
C3-C8	---	---	-8.34**	-4.28**
C3-C9	---	---	-2.73**	---
C4-C6	-7.18**	-5.47**	-11.58**	-10.24**
C4-C7	---	-4.55**	-8.70**	-8.24**
C4-C8	---	---	-8.58**	-7.18**
C4-C9	---	---	-2.05*	---
C5d-C6	-6.34**	-5.03**	-11.34**	-10.17**
C5d-C7	---	-3.63**	-7.57**	-4.29**
C5d-C8	2.22*	---	-7.99**	-3.55**
C5d-C9	---	---	---	2.52*
C5i-C6	-6.54**	-4.33**	-6.17**	-11.19**
C5i-C7	---	-2.53*	-8.91**	-6.90**
C5i-C8	3.47**	---	-8.11**	-5.32**
C5i-C9	4.17**	3.19*	-1.82*	---

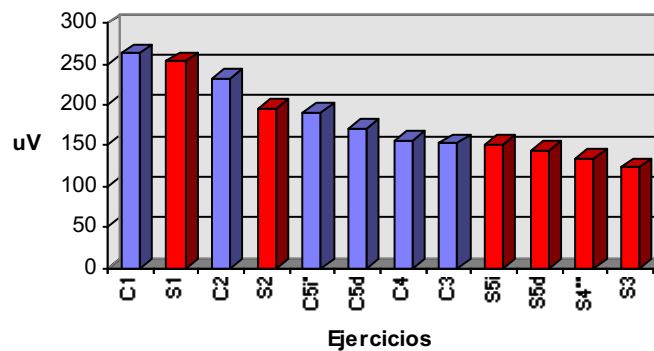
Tabla 17: Valores de t. Ejercicios de encorvamiento superior e inferior. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas. (---) No diferencias significativas.

Grupo I - Grupo III. Encorvamiento superior frente a incorporación superior.

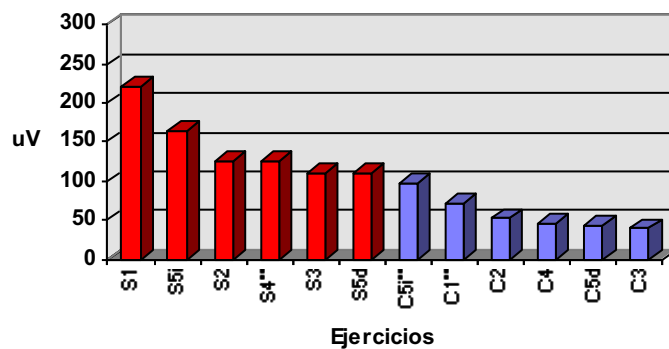
La figura 48 presenta la gradación de los ejercicios de los dos grupos en función de la intensidad de contracción en cada músculo. La tabla 18, muestra los valores de t.



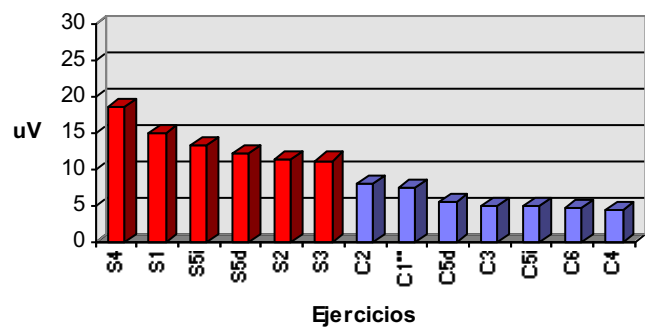
Porción superior del rectus abdominis



Porción inferior del rectus abdominis



Obliquus externus



Erector spinae

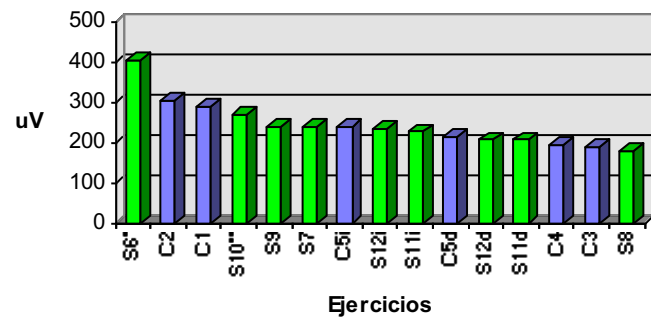
Figura 48: Gradación de los ejercicios de encorvamiento superior e incorporación superior. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas.

Ejercicios	Músculos			
	RS	RI	OE	ES
C1-S1	---	---	-9.25**	-7.87**
C1-S2	3.24**	5.81**	-5.72**	-4.06**
C1-S3	7.26**	6.96**	-3.73**	-4.63**
C1-S4	7.28**	6.32**	-4.40**	-2.26*
C1-S5d	6.99**	6.01**	-3.35**	-6.46**
C1-S5i	5.70**	5.57**	-6.67**	-5.42**
C2-S1	---	---	-10.91**	-4.33**
C2-S2	3.95**	3.00**	-10.36**	-2.19*
C2-S3	7.18**	5.45**	-6.53**	-2.20*
C2-S4	7.24**	4.81**	-6.86**	-2.03*
C2-S5d	7.08**	4.47**	-6.23**	-2.88**
C2-S5i	6.25**	4.00**	-8.62**	-3.03*
C3-S1	-5.93**	-7.05**	-11.40**	-9.02**
C3-S2	-3.84**	-3.85**	-10.84**	-6.23**
C3-S3	3.49**	2.64*	-8.66**	-6.67**
C3-S4	2.88**	---	-8.25**	-2.83**
C3-S5d	2.08*	--	-7.76**	-8.05**
C3-S5i	---	---	-10.05**	-6.79**
C4-S1	-7.46**	-8.03**	-11.47**	-11.18**
C4-S2	-4.83**	-3.57**	-10.62**	-8.45**
C4-S3	4.31**	3.52**	-8.34**	-7.22**
C4-S4	3.92**	2.19*	-8.19**	-2.74**
C4-S5d	2.91**	---	-7.15**	-9.20**
C4-S5i	---	---	-10.83**	-8.46**
C5d-S1	-5.06**	-5.85**	-10.98**	-9.29**
C5d-S2	-2.39*	-2.28**	-10.03**	-5.70**
C5d-S3	4.25**	4.11**	-8.14**	-6.49**
C5d-S4	3.72**	3.01**	-7.83**	-2.55*
C5d-S5d	2.97**	2.46*	-6.84**	-7.98**
C5d-S5i	---	---	-10.34**	-7.31**
C5i-S1	-2.92**	-3.99**	-9.21**	-9.88**
C5i-S2	---	---	-2.55*	-6.75**
C5i-S3	6.07**	3.81**	---	-7.30**
C5i-S4	6.16**	4.05**	-2.24*	-2.68*
C5i-S5d	4.80**	3.56**	---	-8.96**
C5i-S5i	3.61**	2.91**	-5.96**	-8.32**

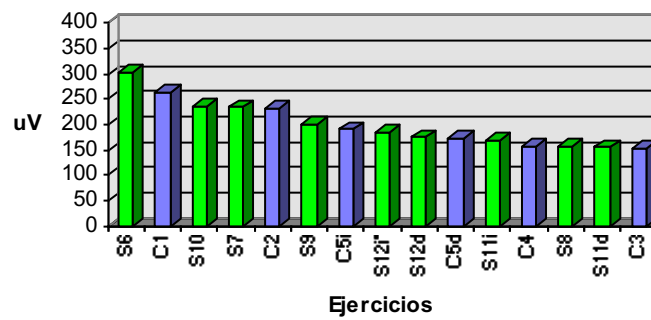
Tabla 18: Valores de t. Ejercicios de encorvamiento e incorporación superior. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas. (---) No diferencias significativa.

Grupo I - Grupo IV. Encorvamiento superior frente a incorporación inferior.

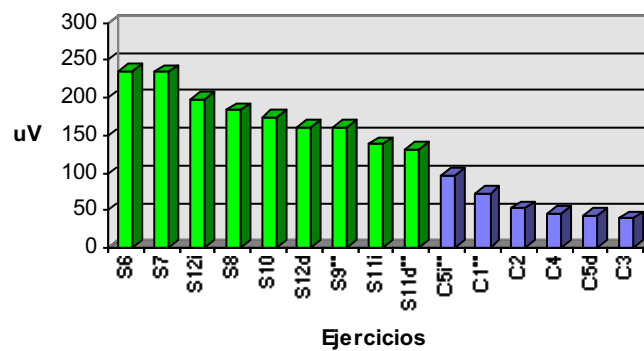
La figura 49 presenta la gradación de los ejercicios de los dos grupos en función de la intensidad de contracción en cada músculo. Las tablas 19 y 20 muestran los valores de t.



Porción superior del rectus abdominis



Porción inferior del rectus abdominis



Obliquus externus



Erector spinae

Figura 49: Gradación de los ejercicios de encorvamiento superior y incorporación inferior. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas.

Ejercicios	Músculos			
	RS	RI	OE	ES
C1-S6	-3.80**	-1.94	-10.42**	-7.13**
C1-S7	2.98**	2.14*	-7.15**	---
C1-S8	5.73**	5.40**	5.51**	---
C1-S9	2.68*	3.60**	-6.89**	---
C1-S10	---	---	-6.33**	---
C1-S11d	4.97**	5.48**	-4.64**	-3.60**
C1-S11i	3.49**	5.06**	-5.67**	-4.11**
C1-S12d	4.38**	4.38**	-6.01**	-6.33**
C1-S12i	2.79**	3.89**	-7.59**	-6.36**
C2-S6	-2.45*	-3.67**	-11.97**	-4.69**
C2-S7	3.75**	---	-8.24**	---
C2-S8	6.15**	3.64**	-6.51**	---
C2-S9	2.97**	---	-8.89**	---
C2-S10	---	---	-8.31**	---
C2-S11d	5.39**	3.57**	-5.90**	-2.46*
C2-S11i	3.96**	3.01**	-7.77**	-3.06**
C2-S12d	5.17**	2.62*	-7.46**	-4.68**
C2-S12i	3.64**	2.18*	-9.15**	-4.93**
C3-S6	-7.49**	-6.35**	-12.32**	-8.82**
C3-S7	-2.12*	-5.24**	-8.90**	---
C3-S8	---	---	-7.09**	---
C3-S9	-2.66*	-3.63**	-10.98**	---
C3-S10	-4.14**	-5.93**	-9.10**	---
C3-S11d	---	---	-6.95**	-5.18**
C3-S11i	---	---	-9.03**	-3.31**
C3-S12d	---	---	-7.83**	-7.25**
C3-S12i	-2.06*	-2.59*	-9.83**	-7.02**
C4-S6	-7.98**	-6.03**	-12.30**	-8.86**
C4-S7	-2.28*	-5.00**	-8.85**	---
C4-S8	---	---	-7.11**	---
C4-S9	-2.88**	-3.49**	-9.79**	---
C4-S10	-4.57**	-5.31**	-8.78**	---
C4-S11d	---	---	-6.72**	-5.37**
C4-S11i	---	---	-8.60**	-5.48**
C4-S12d	---	---	-7.80**	-7.48**
C4-S12i	-2.18*	-2.52*	-9.83**	-7.50**

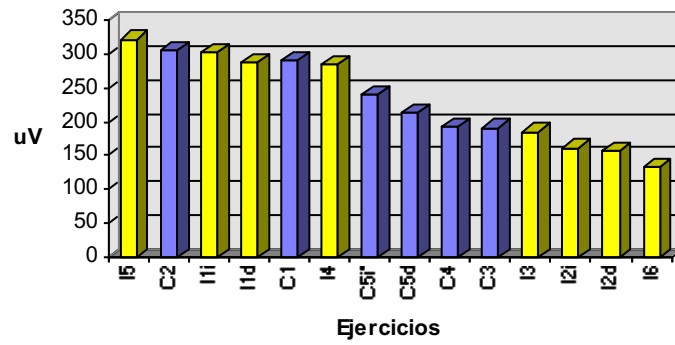
Tabla 19: Valores de t. Ejercicios de encorvamiento superior y de incorpración inferior. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas. (---) No diferencias significativa

Ejercicios	Músculos			
	RS	RI	OE	ES
C5d-S6	-6.93**	-6.11**	-10.78**	-8.38**
C5d-S7	---	-5.07**	-8.60**	---
C5d-S8	2.20*	---	-6.88**	---
C5d-S9	---	-2.16*	-9.81**	---
C5d-S10	-3.11*	-4.92**	-8.67**	---
C5d-S11d	---	---	-6.60**	-5.17**
C5d-S11i	---	---	-8.56**	-5.39**
C5d-S12d	---	---	-7.58**	-7.37**
C5d-S12i	---	---	-9.48**	-7.24**
C5i-S6	-6.57**	-5.66**	-10.49**	-8.70**
C5i-S7	---	-3.45**	-8.65**	---
C5i-S8	3.66**	2.57*	-5.94**	---
C5i-S9	---	---	-5.32**	---
C5i-S10	---	-3.47**	-5.58**	---
C5i-S11d	2.36*	2.50*	-3.41**	-5.31**
C5i-S11i	---	---	-3.62**	-5.55**
C5i-S12d	---	---	-5.58**	-7.67**
C5i-S12i	---	---	-7.87**	-7.52**

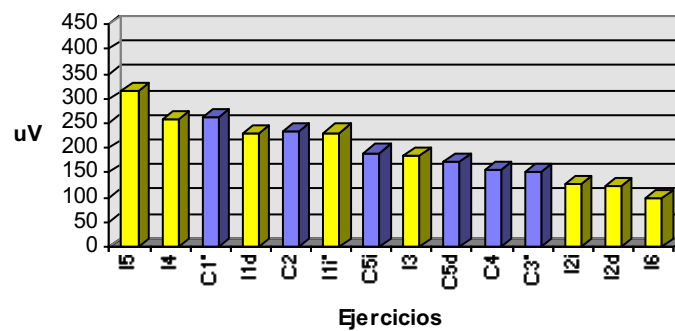
Tabla 20: Valores de t. Ejercicios de encorvamiento superior y de incorporación inferior. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas. (---) No diferencias significativa.

Grupo I - Grupo V. Encorvamiento superior frente a isométrico.

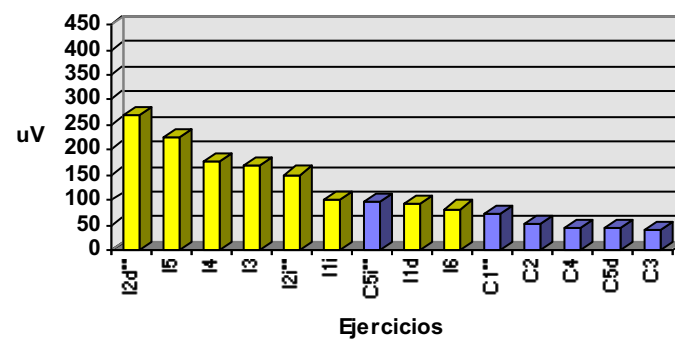
La figura 50 presenta la gradación de los ejercicios de los dos grupos en función de la intensidad de contracción en cada músculo. Las tablas 21 y 22 presentan los valores de t.



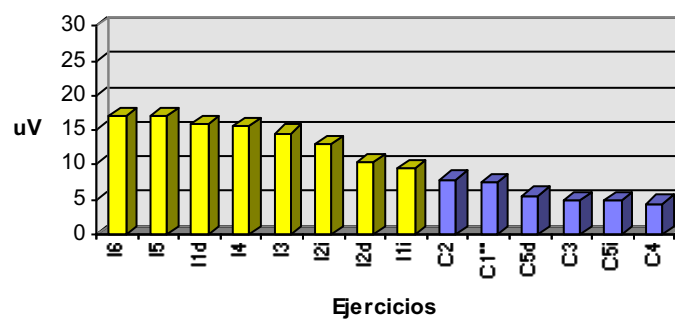
Porción superior del rectus abdominis



Porción inferior del rectus abdominis



Obliquus externus



Erector spinae

Figura 50: Gradación de los ejercicios de encorvamiento superior e isométricos. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas. (---) No diferencias significativas.

Ejercicios	Músculos			
	RS	RI	OE	ES
C1-I1d	---	2.41*	-2.09*	-4.98**
C1-I1i	---	2.64*	-2.70**	-2.41*
C1-I2d	5.46**	7.74**	-6.61**	-4.06**
C1-I2i	5.86**	7.09**	-4.36**	-5.43**
C1-I3	4.83**	4.36**	-5.70**	---
C1-I4	---	---	-4.69**	---
C1-I5	---	-2.53*	-6.01**	---
C1-I6	2.44*	2.45*	-2.67*	---
C2-I1d	---	---	-6.35**	-3.30**
C2-I1i	---	---	-5.35**	---
C2-I2d	5.64**	6.32**	-7.70**	---
C2-I2i	5.97**	5.61**	-5.80**	-2.58*
C2-I3	5.25**	2.71**	-7.27**	---
C2-I4	---	-2.40*	-5.52**	---
C2-I5	---	-3.62**	-6.76**	---
C2-I6	2.72*	1.89*	-3.64**	---
C3-I1d	-4.97**	-3.99**	-6.53**	-6.47**
C3-I1i	-5.10**	-3.60**	-6.48**	-5.88**
C3-I2d	2.04*	2.53*	-7.70**	-6.91**
C3-I2i	2.24*	2.52*	-6.09**	-7.12**
C3-I3	---	-2.43*	-7.91**	---
C3-I4	-3.66**	-5.52**	-6.07**	---
C3-I5	-5.52**	-6.93**	-7.30**	---
C3-I6	---	---	-5.46**	---

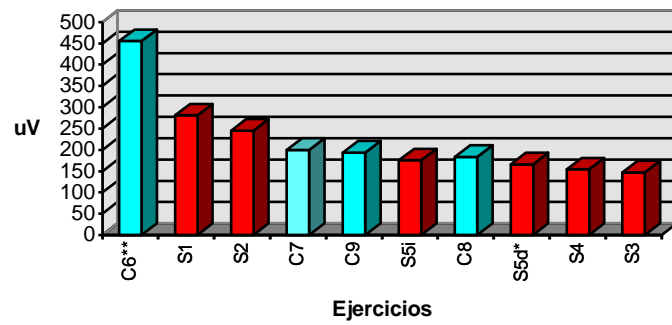
Tabla 21: Valores de t. Ejercicios de encorvamiento superior e isométricos. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas. (---) No diferencias significativa.

Ejercicios	Músculos			
	RS	RI	OE	ES
C4-I1d	-6.22**	-4.36**	-5.72**	-6.95**
C4-I1i	-6.09**	-3.85**	-5.80**	-6.68**
C4-I2d	2.14*	2.73**	-7.67**	-8.09**
C4-I2i	2.17*	2.74**	-5.86**	-8.23**
C4-I3	---	-1.85*	-8.04**	---
C4-I4	-3.67**	-4.81**	-6.10**	---
C4-I5	-5.37**	-6.04**	-7.38**	---
C4-I6	---	---	-6.03**	---
C5d-I1d	-4.53**	-3.65**	-6.61**	-6.86**
C5d-I1i	-4.54**	-3.10**	-5.92**	-5.06**
C5d-I2d	2.83**	4.08**	-7.55**	-6.70**
C5d-I2i	3.09**	4.53**	-5.96**	-7.45**
C5d-I3	---	---	-7.54**	---
C5d-I4	-2.86**	-4.71**	-5.75**	---
C5d-I5	-4.62**	-5.96**	-6.99**	---
C5d-I6	---	--	-4.69**	---
C5i-I1d	-3.41**	-2.82**	---	-6.60**
C5i-I1i	-3.47**	-2.27*	---	-5.55**
C5i-I2d	3.88**	5.53**	-6.87**	-7.11**
C5i-I2i	3.93**	5.41**	-3.22**	-7.44**
C5i-I3	2.78**	---	-3.06**	----
C5i-I4	---	-4.40**	-5.86**	----
C5i-I5	-3.09**	-5.49**	-7.65**	----
C5i-I6	2.86*	2.25*	---	----

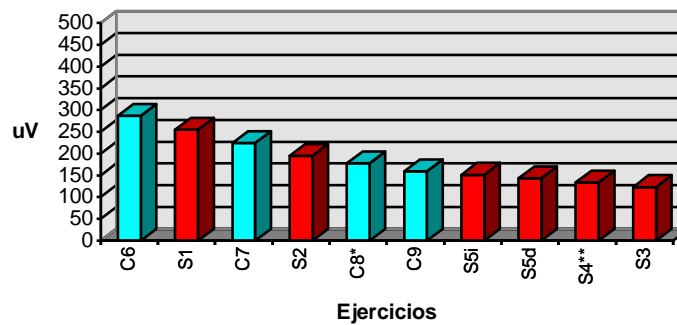
Tabla 22: Valores de t. Ejercicios de encorvamiento superior e isométricos. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas. (---) No diferencias significativas.

Grupo II- Grupo III. Encorvamiento inferior frente a incorporación superior.

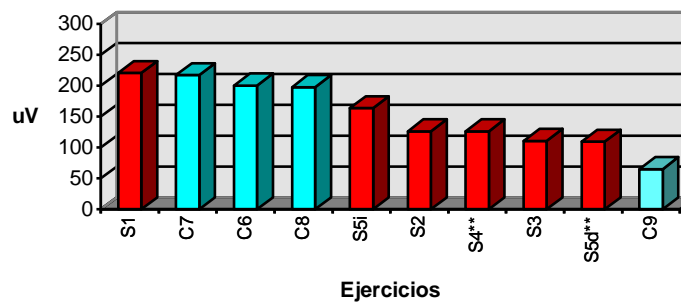
La figura 51 presenta la gradación de los ejercicios de los dos grupos en función de la intensidad de contracción en cada músculo. La tabla 23 muestra los valores de t.



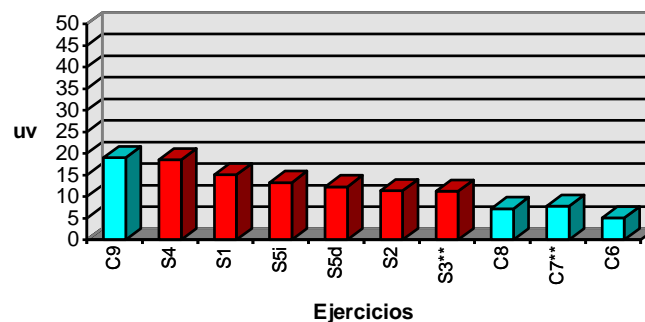
Porción superior del rectus abdominis



Porción inferior del rectus abdominis



Obliquus externus



Erector spinae

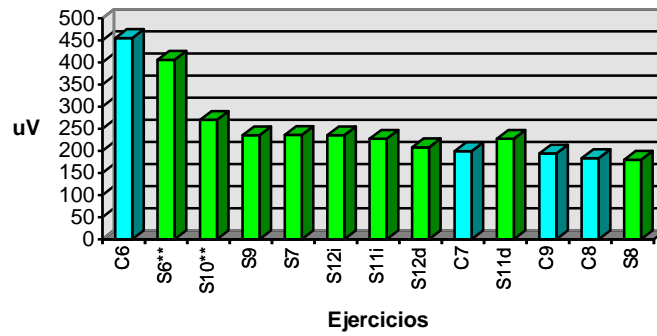
Figura 51: Gradación de los ejercicios de encorvamiento inferior e incorporación superior. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas.

Ejercicios	Músculos			
	RS	RI	OE	ES
C6-S1	4.41**	---	---	---
C6-S2	6.03**	5.14**	7.28**	3.93**
C6-S3	8.37**	6.55**	7.82**	3.54**
C6-S4	8.31**	6.06**	6.11**	---
C6-S5d	7.94**	5.82**	8.01**	2.25*
C6-S5i	7.76**	5.48**	2.43*	---
C7-S1	-5.11**	-2.14*	---	-8.20**
C7-S2	-2.37*	2.52*	6.37**	-4.68**
C7-S3	4.13**	7.07**	6.24**	-4.57**
C7-S4	3.28**	6.84**	5.95**	-2.20*
C7-S5d	2.59*	-5.89**	6.10**	-5.69**
C7-S5i	---	5.19**	2.78**	-5.93**
C8-S1	-6.57**	-5.80**	---	-10.60**
C8-S2	-3.78**	---	5.35**	-4.79**
C8-S3	2.26*	4.88**	6.01**	-4.95**
C8-S4	---	3.77**	5.57**	-2.15*
C8-S5d	---	2.94**	5.43**	-6.09**
C8-S5i	---	2.30*	2.24*	-5.49**
C9-S1	-8.68**	-6.39**	-12.08**	-10.02**
C9-S2	-5.23**	-2.90**	-5.88**	-7.30**
C9-S3	3.97**	4.02**	-3.80**	-7.59**
C9-S4	3.22**	2.64*	-5.78**	-2.84**
C9-S5d	---	---	-3.01**	-9.70**
C9-S5i	---	---	-8.89**	-8.01**

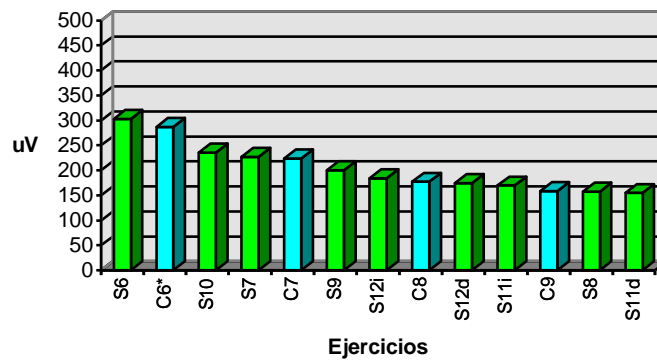
Tabla 23: Valores de t. Ejercicios de encorvamiento inferior e incorporación superior. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas. (---) No diferencias significativas.

Grupo II - Grupo IV. Encorvamiento inferior frente a incorporación inferior.

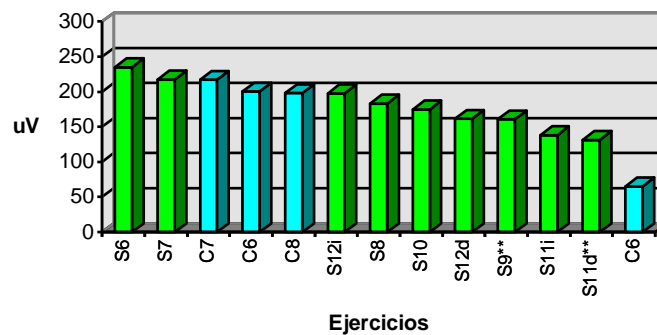
La figura 52 presenta la gradación de los ejercicios de los dos grupos en función de la intensidad de contracción en cada músculo. La tabla 24 muestra los valores de t.



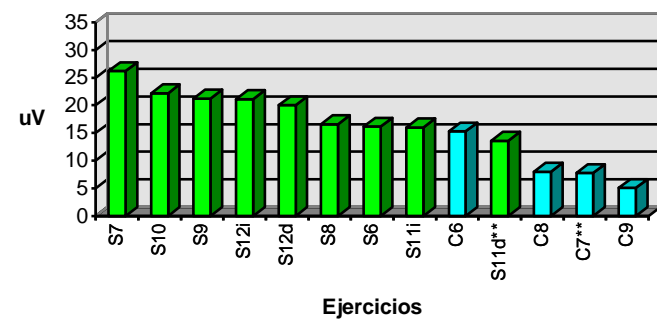
Porción superior del rectus abdominis



Porción inferior del rectus abdominis



Obliquus externus



Erector spinae

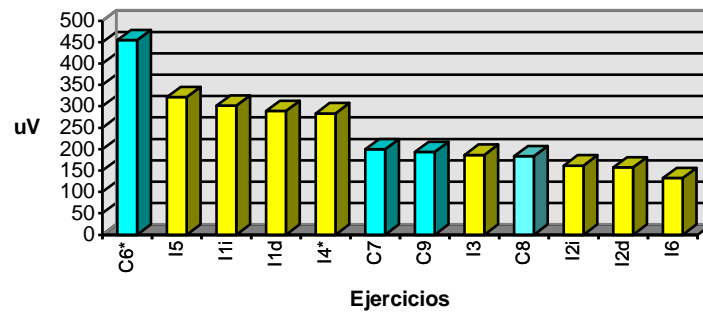
Figura 52: Gradación de los ejercicios de encorvamiento inferior e incorporación inferior. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas.

Ejercicios	Músculos			
	RS	RI	OE	ES
C6-S6	---	---	---	---
C6-S8	6.60**	5.44**	---	---
C6-S7	5.32**	2.77**	---	---
C6-S11d	6.25**	5.50**	4.76**	---
C6-S11i	5.40**	5.05**	4.81**	---
C6-S12d	6.21**	4.59**	2.47*	-2.20*
C6-S12i	5.29**	3.97**	---	-2.90**
C6-S9	7.05**	3.78**	3.16**	---
C6-S10	5.41**	2.38*	---	---
C7-S6	-7.63**	-4.54**	---	-7.16**
C7-S8	---	4.41**	2.35*	---
C7-S7	---	---	---	---
C7-S11d	---	4.69**	5.20**	-4.05**
C7-S11i	---	3.48**	4.30**	-4.50**
C7-S12d	---	3.06	3.42**	-6.64**
C7-S12i	---	2.32*	---	-6.41**
C7-S9	---	---	3.07**	---
C7-S10	-3.12**	---	2.17*	---
C8-S6	-8.16**	-6.55**	-2.83**	-6.76**
C8-S8	---	2.04*	---	---
C8-S7	-3.81**	-4.53**	---	---
C8-S11d	---	---	5.29**	-3.72**
C8-S11i	-3.44**	---	4.34**	-4.21**
C8-S12d	---	---	2.90**	-6.42**
C8-S12i	-3.78**	---	---	-6.75**
C8-S9	-3.03**	---	2.87**	---
C8-S10	-4.17**	-4.29**	---	---
C9-S6	-8.32**	-7.15**	-13.38**	-9.49**
C9-S8	---	---	-8.98**	---
C9-S7	-2.91**	-5.61**	-11.38**	---
C9-S11d	---	---	-6.72**	-5.28**
C9-S11i	-2.12*	---	-7.39**	-5.51**
C9-S12d	---	---	-8.12**	-7.59**
C9-S12i	-2.63*	-2.06*	-11.02**	7.59**
C9-S9	2.97**	-3.30**	-10.06**	-1.74*
C9-S10	-4.75**	-6.29**	-10.02**	---

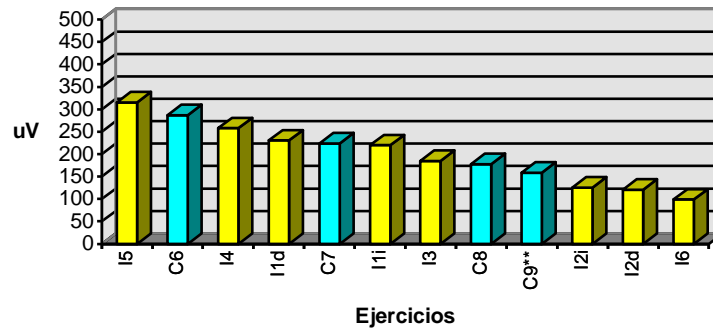
Tabla 24: Valores de t. Ejercicios de encorvamiento inferior e incorporación inferior. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas. (---) No diferencias significativas.

Grupo II - Grupo V. Encorvamiento inferior frente a isométrico

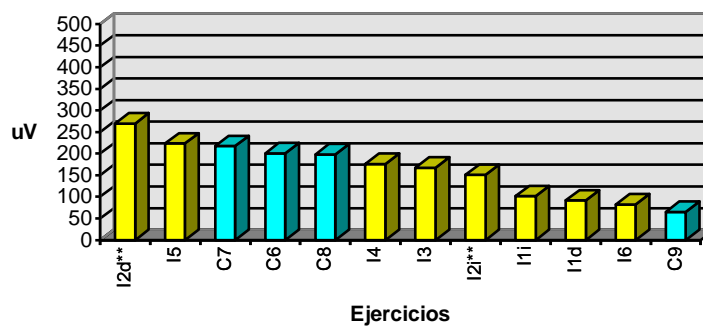
La figura 53 representa la gradación de los ejercicios de los dos grupos en función de la intensidad de contracción en cada músculo. La tabla 25 muestra los valores de t.



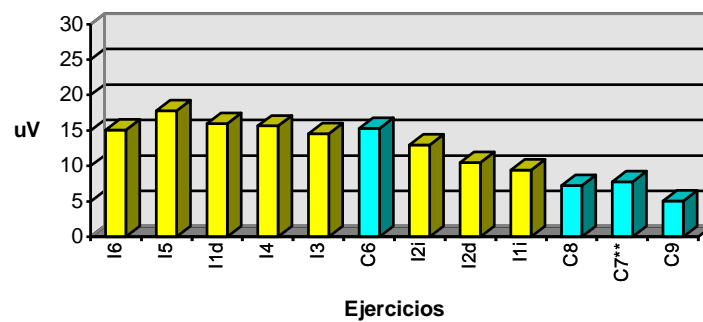
Porción superior del rectus abdominis



Porción inferior del rectus abdominis



Obliquus externus



Erector spinae

Figura 53: Gradación de los ejercicios de encorvamiento inferior e isométrico. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas.

Ejercicios	Músculos			
	RS	RI	OE	ES
C6-I1d	4.44**	2.55*	8.15**	---
C6-I1i	4.08**	2.94**	6.53**	5.03**
C6-I2d	8.63**	7.57**	-2.41*	3.89**
C6-I2i	8.04**	7.23**	2.93**	---
C6-I3	6.62**	4.66**	1.88*	---
C6-I4	3.46**	---	---	---
C6-I5	2.63*	---	---	---
C6-I6	4.90**	3.64**	5.33**	---
C7-I1d	-4.29**	---	5.53**	-5.28**
C7-I1i	-4.61**	---	5.84**	-2.97**
C7-I2d	2.82**	6.28**	---	-4.33**
C7-I2i	3.01**	6.65**	3.41**	-5.82**
C7-I3	---	2.27*	3.41**	---
C7-I4	-3.50**	-2.13*	3.20**	---
C7-I5	-4.73**	-3.27**	---	---
C7-I6	---	2.89*	6.16**	---
C8-I1d	-5.35**	-3.38**	5.83**	-5.28**
C8-I1i	-5.25**	-3.05**	5.90**	-2.88**
C8-I2d	---	4.88**	-2.93**	-5.00**
C8-I2i	---	5.35**	3.18**	-6.26**
C8-I3	---	---	2.86**	---
C8-I4	-4.14**	-4.66**	---	---
C8-I5	-5.63**	-5.41**	-2.54*	---
C8-I6	---	---	3.96**	---
C9-I1d	-6.48**	-4.11**	-2.32*	-6.95**
C9-I1i	-5.91**	-3.91**	-3.84**	-6.02**
C9-I2d	2.05*	2.91*	-8.61**	-7.26**
C9-I2i	1.99*	2.52*	-5.29**	-7.68**
C9-I3	---	-2.04*	-10.32**	---
C9-I4	-3.86**	-5.31**	-7.58**	---
C9-I5	-5.75**	-6.23**	-9.22**	---
C9-I6	---	---	-2.27*	---

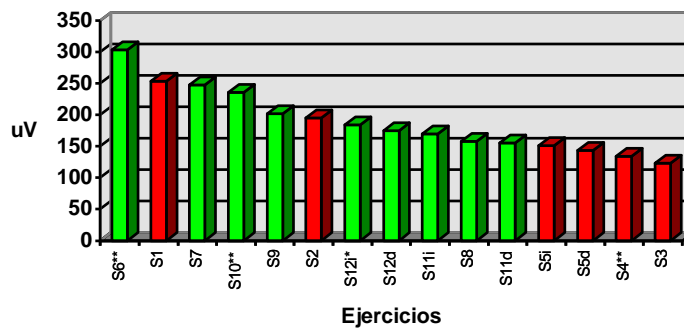
Tabla 25: Valores de t. Ejercicios de encorvamiento inferior e isométricos. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas. (---) No diferencias significativas.

Grupo III - Grupo IV. Incorporación superior frente a incorporación inferior.

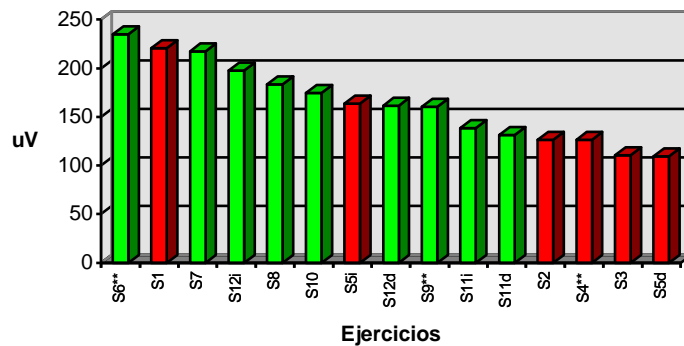
La figura 54 muestra la gradación de los ejercicios de los dos grupos en función de la intensidad de contracción en cada músculo. Las tablas 26 y 27 presentan los valores de t.



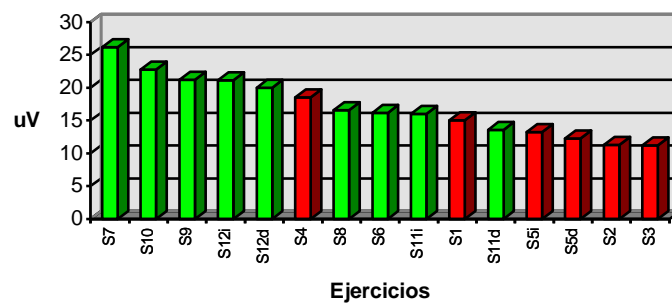
Porción superior del rectus abdominis



Porción inferior del rectus abdominis



Obliquus externus



Erector spinae

Figura 54: Gradación de los ejercicios de **incorporación superior e inferior**. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas.

Ejercicios	Músculos			
	RS	RI	OE	ES
S1-S6	-4.94**	-2.69**	---	---
S1-S7	2.69**	---	---	---
S1-S8	5.99**	6.91**	3.02**	---
S1-S9	2.82**	4.16**	5.02**	---
S1-S10	---	---	3.96**	---
S1-S11d	6.56**	8.06**	7.66**	---
S1-S11i	3.50**	6.55**	6.40**	---
S1-S12d	5.78**	6.11**	4.56**	-2.82**
S1-S12i	3.07**	5.04**	---	-3.42**
S2-S6	-6.67**	-5.86**	-9.09**	-3.46**
S2-S7	---	2.75**	-5.98**	---
S2-S8	3.59**	3.21**	-3.93**	---
S2-S9	---	---	-4.18**	---
S2-S10	---	-3.11**	-4.54**	---
S2-S11d	3.15**	3.71**	---	---
S2-S11i	---	2.38*	---	-2.59*
S2-S12d	3.14**	---	-3.11**	-4.87**
S2-S12i	---	---	-5.91**	-5.38**
S3-S6	-10.17**	-7.85**	-9.52**	-4.61**
S3-S7	-5.16**	-7.68**	-7.13**	---
S3-S8	---	-4.12**	-5.14**	---
S3-S9	-5.53**	-7.91**	-6.21**	---
S3-S10	-7.00**	-7.79**	-6.09**	---
S3-S11d	-4.17**	-3.94**	-2.67*	---
S3-S11i	-4.90**	-4.76**	-4.03**	-2.39*
S3-S12d	-4.91**	-4.85**	-4.81**	-5.02**
S3-S12i	-5.49**	-5.31**	-7.38**	-5.29**

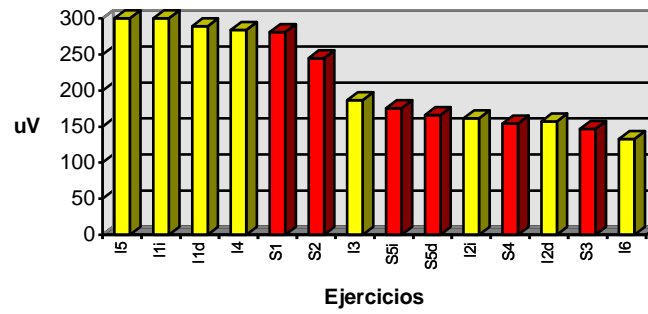
Tabla 26: Valores de t. Ejercicios de incorporación superior e inferior. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas. (---) No diferencias significativas.

Ejercicios	Músculos			
	RS	RI	OE	ES
S4-S6	-9.98**	-7.43**	-8.98**	---
S4-S7	-4.40**	-6.81**	-6.96**	---
S4-S8	---	-2.44*	-4.52**	---
S4-S9	-5.26**	-6.57**	-4.59**	---
S4-S10	-7.12**	-6.94**	-4.78**	---
S4-S11d	-3.17**	-2.42*	---	---
S4-S11i	-4.07**	-3.29**	---	---
S4-S12d	-3.86**	-3.68**	-3.70**	---
S4-S12i	-4.55**	-4.14**	-6.83**	---
S5d-S6	-9.61**	-6.96**	-9.30**	-4.01**
S5d-S7	-3.86**	-6.22**	-6.63**	---
S5d-S8	---	---	-4.68**	---
S5d-S9	4.56**	-6.05**	-5.53**	---
S5d-S10	-6.17**	-6.74**	-5.41**	---
S5d-S11d	-2.36*	---	-2.12*	---
S5d-S11i	-3.50**	-2.61*	-3.26**	---
S5d-S12d	-3.37**	-3.35**	-4.28**	-4.71**
S5d-S12i	-4.14**	-3.92**	-6.61**	-4.96**
S5i-S6	-9.37**	-6.54**	-4.22**	-2.81**
S5i-S7	-2.78**	-5.54**	-3.58**	---
S5i-S8	---	---	---	---
S5i-S9	-3.44**	-4.89**	---	---
S5i-S10	-5.05**	-5.94**	---	---
S5i-S11d	---	---	2.96**	---
S5i-S11i	-2.47*	-2.40*	2.41*	---
S5i-S12d	---	2.47*	---	-4.38**
S5i-S12i	-3.02**	-2.98**	-2.81**	-4.43**

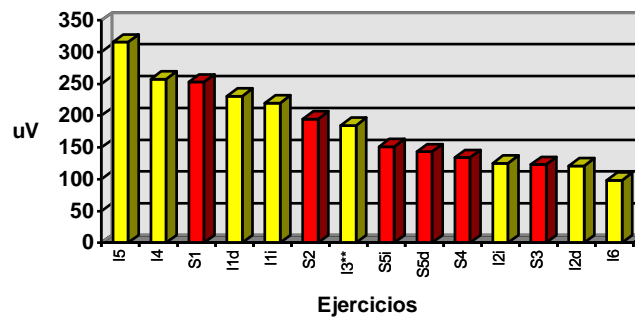
Tabla 27: Valores de t. Ejercicios de incorporación superior e inferior . ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas. (---) No diferencias significativas.

Grupo III - Grupo V. Incorporación superior frente a isométrico.

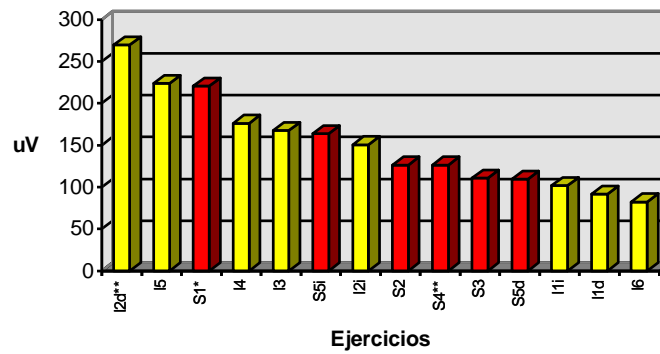
La figura 55 representa la gradación de los ejercicios de los dos grupos en función de la intensidad de contracción en cada músculo. Las tablas 28 y 29 muestran los valores de t.



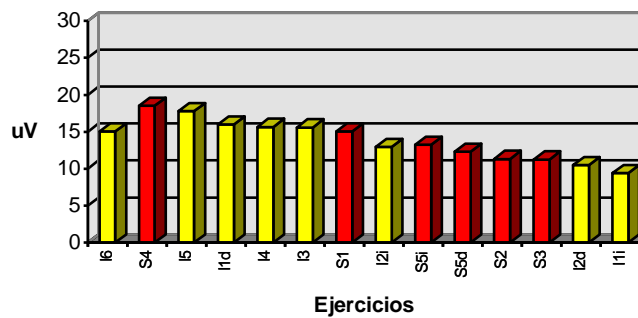
Porción superior del rectus abdominis



Porción inferior del rectus abdominis



Obliquus externus



Erector spinae

Figura 55: Gradación de los ejercicios de incorporación superior e isométricos. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas.

Ejercicios	Músculos			
	RS	RI	OE	ES
S1-I1d	---	---	8.75**	---
S1-I1i	---	2.15*	9.98**	4.81**
S1-I2d	5.95**	8.37**	-2.23*	4.69**
S1-I2i	6.22**	8.40**	4.11**	---
S1-I3	5.20**	3.98**	4.59**	---
S1-I4	---	---	2.23*	---
S1-I5	---	-2.59*	---	---
S1-I6	3.93**	3.71**	5.31**	---
S2-I1d	-3.91**	-2.45*	4.29**	-2.95**
S2-I1i	-3.68**	---	3.07**	---
S2-I2d	4.55**	7.29**	-6.05**	---
S2-I2i	5.06**	6.75**	---	-2.41*
S2-I3	3.44**	---	-3.88**	---
S2-I4	---	-4.35**	-2.86**	---
S2-I5	-3.13**	-5.85**	-5.09**	---
S2-I6	2.44*	2.26*	---	---
S3-I1d	-8.26**	-5.41**	---	-2.88**
S3-I1i	-7.64**	-6.19**	---	---
S3-I2d	---	---	-6.48**	---
S3-I2i	---	---	-2.97**	---
S3-I3	-2.10*	-4.78**	-5.12**	---
S3-I4	-5.48**	-6.85**	-3.55**	---
S3-I5	-6.67**	-6.94**	-5.58**	---
S3-I6	---	---	---	---

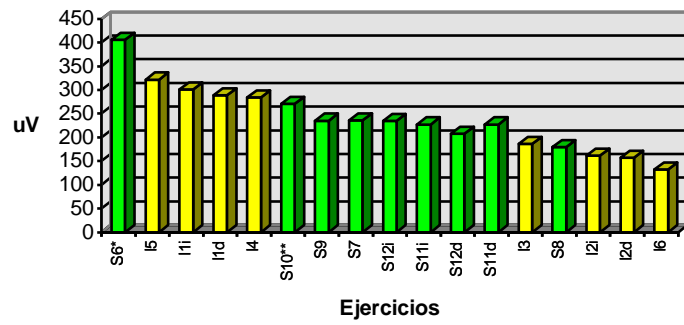
Tabla 28: Valores de t. Ejercicios de incorporación superior e isométricos. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas. (---) No diferencias significativas.

Ejercicios	Músculos			
	RS	RI	OE	ES
S4-I1d	-8.69**	-4.95**	3.02**	---
S4-I1i	-8.15**	-5.59**	2.44*	---
S4-I2d	---	---	-6.26**	---
S4-I2i	---	---	---	---
S4-I3	---	-3.66**	-4.59**	---
S4-I4	-4.78**	-6.10**	-3.06**	---
S4-I5	-6.02**	-6.41**	-5.53**	---
S4-I6	---	---	---	---
S5d-I1d	-7.92**	-4.38**	---	-2.20*
S5d-I1i	-7.94**	-4.72**	---	3.51**
S5d-I2d	---	2.13*	-6.66**	2.46*
S5d-I2i	---	2.10*	---	---
S5d-I3	---	-3.49**	-4.51**	---
S5d-I4	-4.53**	-6.01**	-3.36**	---
S5d-I5	-5.75**	-6.45**	-5.42**	---
S5d-I6	---	---	---	---
S5i-I1d	-6.19**	-4.08**	6.00**	---
S5i-I1i	-6.27**	-4.29**	6.92**	2.95**
S5i-I2d	---	2.49*	-4.03**	2.25*
S5i-I2i	---	2.37*	---	---
S5i-I3	---	-2.71**	---	---
S5i-I4	-3.81**	-5.71**	---	---
S5i-I5	-5.01**	-6.23**	-3.15**	---
S5i-I6	---	---	3.31**	---

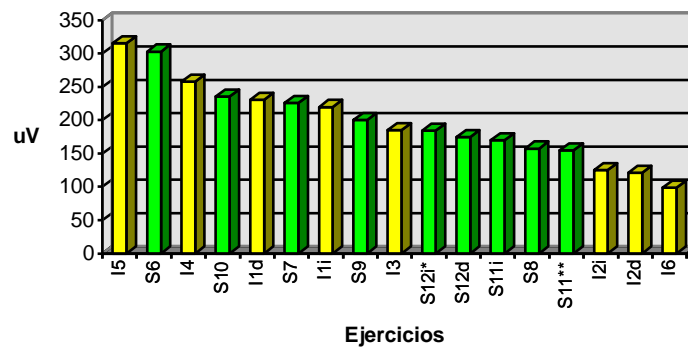
Tabla 29: Valores de t. Ejercicios de incorporación superior e isométricos. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas. (---) No diferencias significativas.

Grupo IV- Grupo V. Incorporación inferior frente a isométrico.

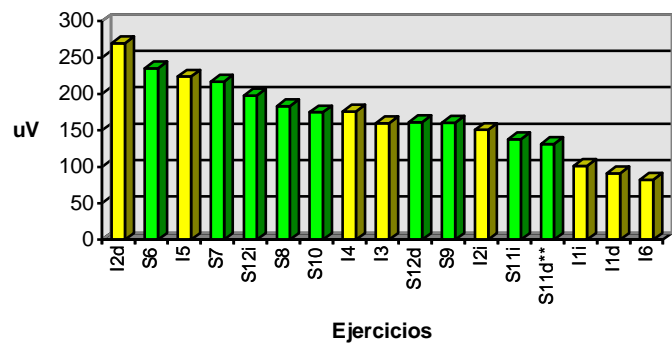
La figura 56 representa la gradación de los ejercicios de los dos grupos. Las tablas 30 y 31 muestran los valores de t.



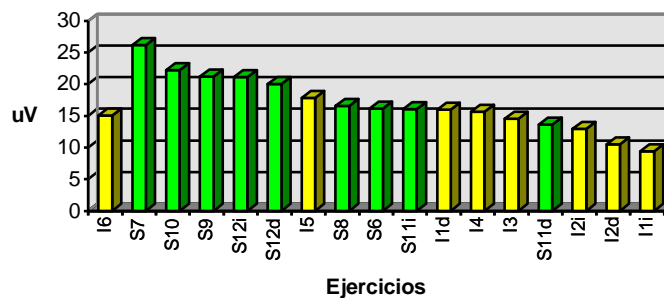
Porción superior del rectus abdominis



Porción inferior del rectus abdominis



Obliquus externus



Erector spinae

Figura 56: Gradación de los ejercicios de incorporación inferior e isométrico. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas.

Ejercicios	Músculos			
	RS	RI	OE	ES
S6-I1d	4.45**	3.45**	9.11**	---
S6-I1i	4.19**	3.71**	9.26**	4.78**
S6-I2d	9.71**	8.08**	---	4.38**
S6-I2i	9.60**	8.38**	5.27**	2.18*
S6-I3	7.59**	5.14**	6.51**	---
S6-I4	3.31**	---	4.13**	---
S6-I5	2.43*	---	---	---
S6-I6	4.97**	3.28**	5.51**	---
S7-I1d	2.65*	---	-6.69**	---
S7-I1i	3.08**	---	-7.79**	---
S7-I2d	-4.35**	-7.59**	2.60*	---
S7-I2i	-4.28**	-8.66**	-3.86**	---
S7-I3	-4.05**	-3.06**	-4.57**	---
S7-I4	2.37*	2.21*	-3.13**	---
S7-I5	3.95**	3.67**	---	---
S7-I6	-2.66*	-2.97*	-3.61**	---
S8-I1d	-4.93**	-4.08**	4.95**	---
S8-I1i	-5.07**	-3.78**	5.22**	---
S8-I2d	---	3.07**	-4.66**	---
S8-I2i	---	3.48**	2.06*	---
S8-I3	---	---	---	2.05*
S8-I4	-4.48**	-4.96**	---	---
S8-I5	-5.78**	-5.71**	-3.50**	---
S8-I6	---	---	3.46**	---
S9-I1d	-3.26**	---	5.84**	---
S9-I1i	-3.49**	---	5.51**	---
S9-I2d	3.99**	6.34**	-4.68**	---
S9-I2i	4.32**	7.45**	---	---
S9-I3	3.44**	---	---	2.08*
S9-I4	---	-3.67**	---	2.50*
S9-I5	-3.24**	-4.93**	-3.45**	3.17**
S9-I6	2.69*	2.64*	2.71*	---
S10-I1d	---	---	5.83**	---
S10-I1i	---	---	6.25**	---
S10-I2d	4.93**	8.38**	-4.02**	---
S10-I2i	4.93**	9.06**	---	---
S10-I3	4.66**	4.32**	---	---
S10-I4	---	---	---	---
S10-I5	---	-4.10**	-2.62*	2.03*
S10-I6	3.95**	3.99**	2.86*	---

Tabla 30: Valores de t. Ejercicios de incorporación inferior e isométricos. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas. (---) No diferencias significativas.

Ejercicios	Músculos			
	RS	RI	OE	ES
S11d-I1d	-4.55**	-4.22**	3.18**	---
S11d-I1i	-4.81**	-3.91**	2.73**	2.41*
S11d-I2d	2.38*	2.85**	-6.02**	---
S11d-I2i	2.54*	3.21**	---	---
S11d-I3	---	-2.25*	-3.69**	---
S11d-I4	-3.61**	-5.21**	-3.01**	---
S11d-I5	-5.03**	-6.35**	-5.84**	---
S11d-I6	---	---	---	---
S11i-I1d	-2.81**	-3.48**	4.79**	---
S11i-I1i	-3.29**	2.99**	3.75**	3.15**
S11i-I2d	3.67**	4.53**	-5.48**	2.64*
S11i-I2i	3.81**	4.78**	---	---
S11i-I3	2.41*	---	-2.67*	---
S11i-I4	-2.12*	-4.75**	-2.23*	---
S11i-I5	-3.49**	-6.03**	-4.62**	---
S11i-I6	---	---	2.49*	---
S12d-I1d	-4.54**	-3.11**	5.08**	---
S12d-I1i	-4.89**	-2.63*	4.99**	5.29**
S12d-I2d	2.81**	4.54**	-4.82**	4.92**
S12d-I2i	2.97**	5.17**	---	3.58**
S12d-I3	---	---	---	---
S12d-I4	-3.29**	-4.40**	---	---
S12d-I5	-4.89**	5.93**	-3.82**	---
S12d-I6	---	2.71*	2.66**	---
S12i-I1d	-2.59*	-2.49*	7.64**	2.57*
S12i-I1i	-2.97**	-2.02*	8.06**	5.76**
S12i-I2d	3.83**	5.30**	-3.24**	5.48**
S12i-I2i	4.35**	6.00**	3.05**	4.60**
S12i-I3	2.97**	---	2.89**	---
S12i-I4	---	-3.86**	---	---
S12i-I5	-3.48**	-5.44**	---	---
S12i-I6	---	2.63*	3.73**	---

Tabla 31: Valores de t. Ejercicios de incorporación inferior e isométricos. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas. (---) No diferencias significativas.

1.4.3 Entre todos los grupos de ejercicios.

Porción superior del músculo Rectus Abdominis (RS).

La gradación de los ejercicios para este músculo aparece en la figura 57.

Porción inferior del músculo Rectus Abdominis (RI).

La gradación de los ejercicios en este músculo se muestra en la figura 58.

Obliquus Externus (OE).

La gradación de los ejercicios en este músculo se representa en la figura 59.

Erector Spinae (ES).

La gradación de los ejercicios en este músculo se presenta en la figura 60.

GRADACIÓN DE LOS EJERCICIOS

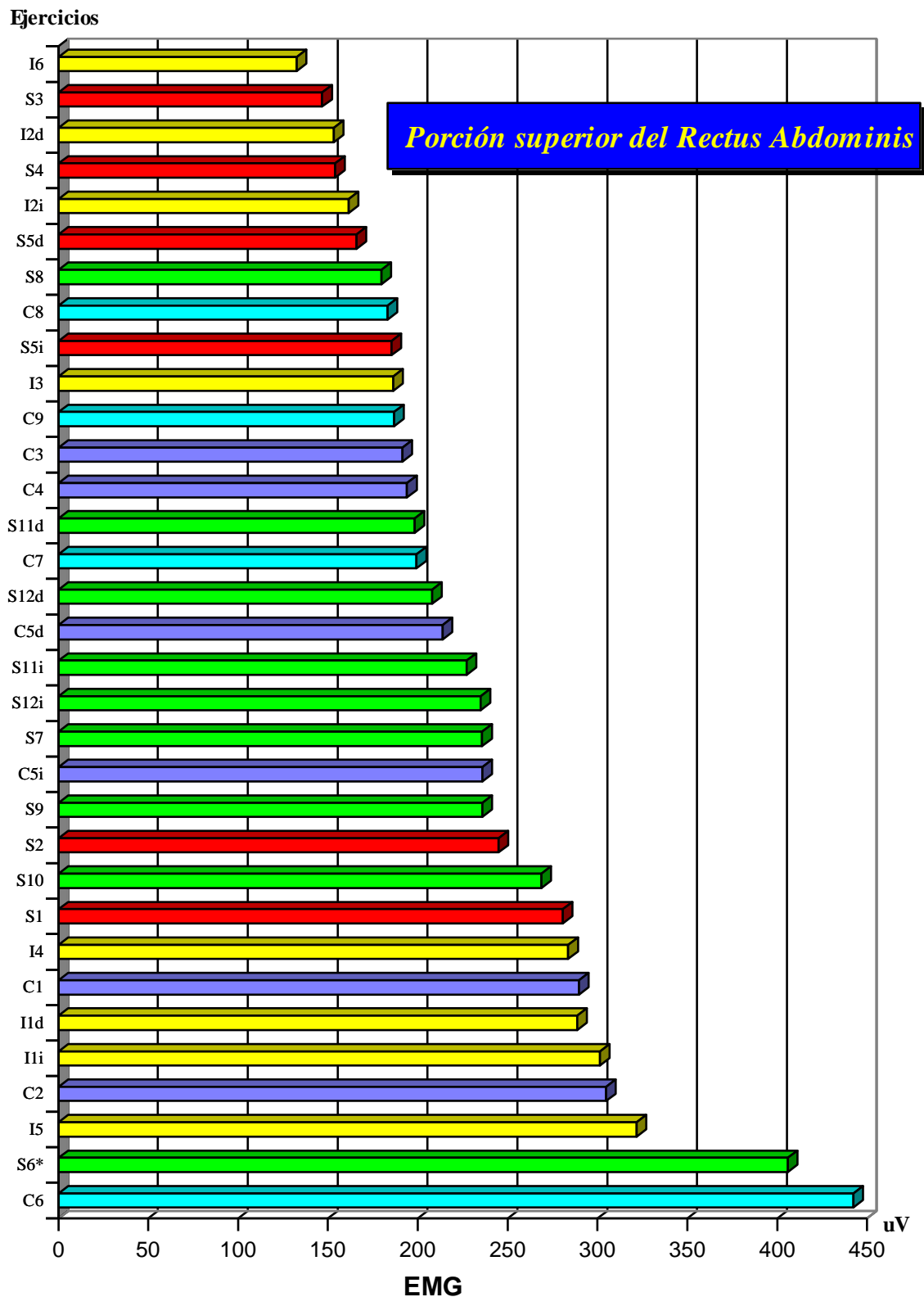


Figura 57: Gradación de los ejercicios. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas

GRADACIÓN DE LOS EJERCICIOS

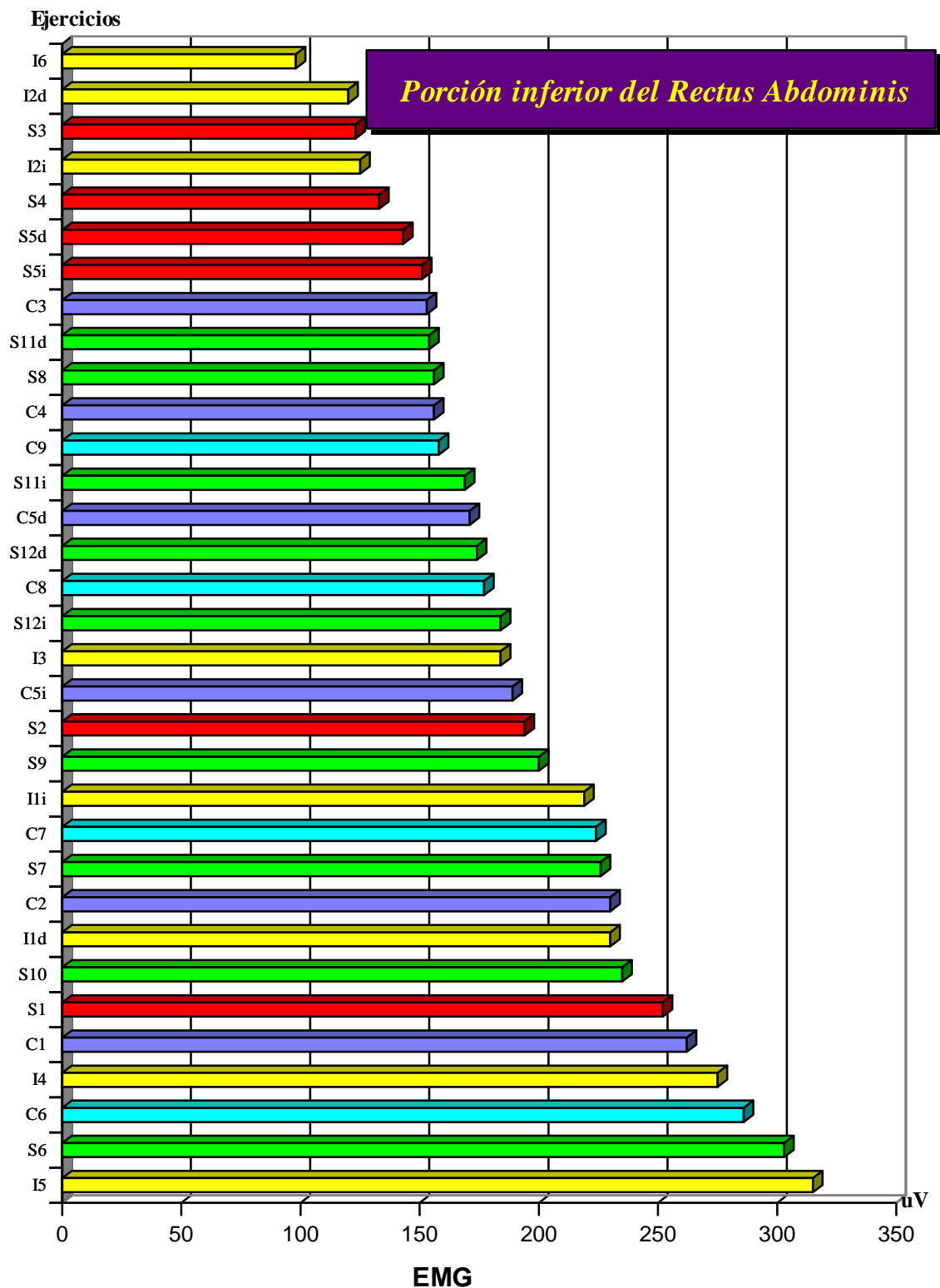


Figura 58: Gradación de los ejercicios. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas

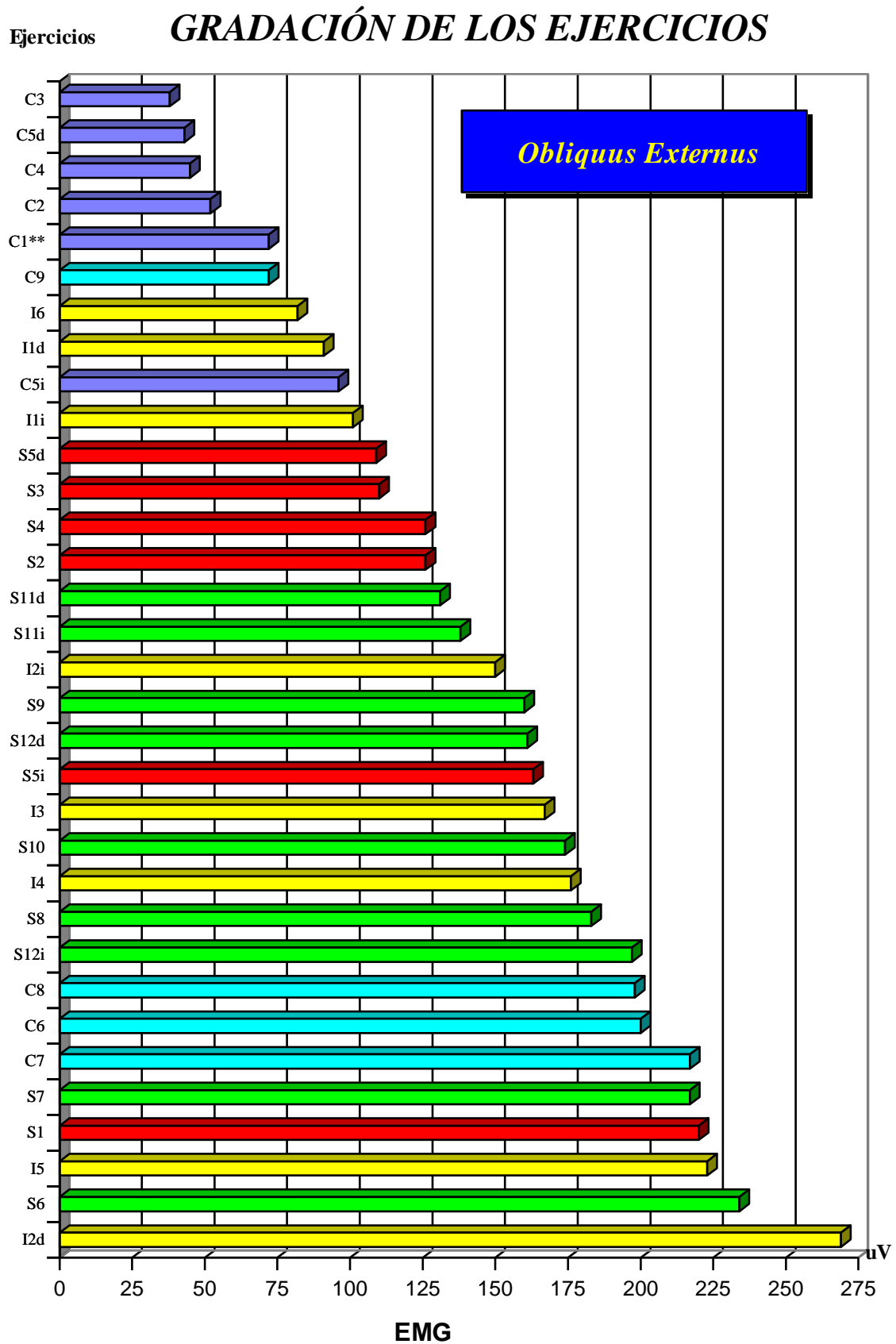


Figura 59: Gradación de los ejercicios. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas

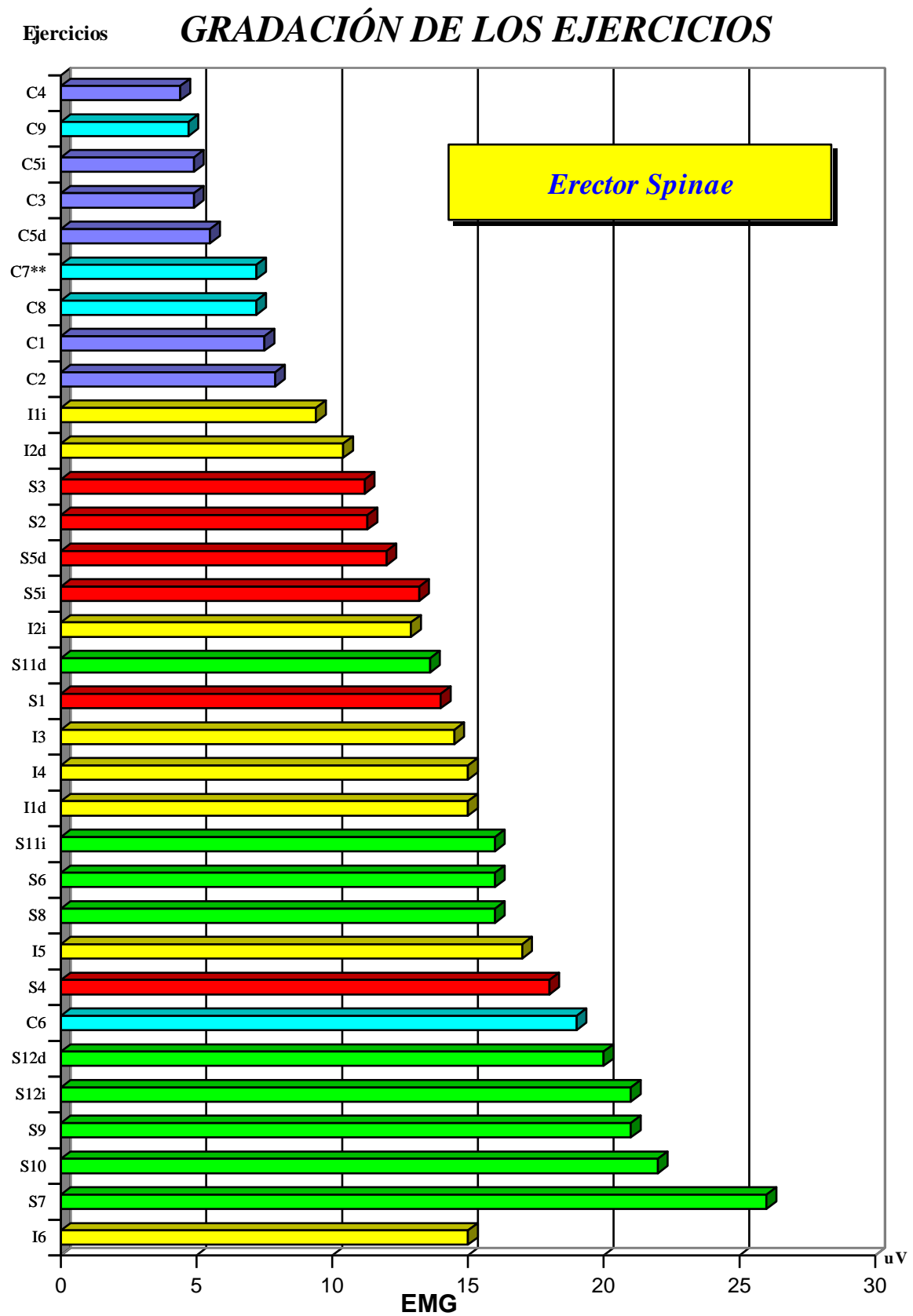


Figura 60: Gradación de los ejercicios. ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$) Diferencias significativas

1.5 PORCIÓN SUPERIOR E INFERIOR DEL MÚSCULO RECTUS ABDOMINIS.

El t-test indicó que cuando existieron diferencias de intensidad significativas entre las dos porciones del músculo rectus abdominis. La porción superior del RA fue más intensa en la mayoría de los grupos y subgrupos de sujetos. Encontramos una excepción a este resultado en el subgrupo CH1, el cual mostró que los ejercicios de encorvamiento e incorporación de tronco sobre tabla inclinada (C1 y S1), fueron significativamente más intensos para la porción inferior del RA. En las tablas 32, 33, 34 se presentan los valores de la t en la población y en los diferentes grupos y subgrupos.

EJERCICIOS DE ENCORVAMIENTO (G-I y II).

Agrupaciones		EMGi	C1	C2	C3	C4	C5d	C5i	C6	C7	C8	C9
POBLACIÓN		RS-RI	---	2.70**	2.53*	2.48*	2.54*	2.82**	4.14**	---	---	---
GRUPOS	A1	RS-RI	---	---	2.64*	2.73*	2.54*	---	3.76**	---	---	---
	A2	RS-RI	---	---	---	---	---	2.55*	---	---	---	---
	C1	RS-RI	---	---	---	---	---	---	2.37*	---	---	---
	C2	RS-RI	3.69**	3.45*	4.23**	3.68**	3.37*	4.11**	4.01**	3.37*	4.47**	4.34**
SUBGRUPOS	AH1	RS-RI	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	AH2	RS-RI	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	AM1	RS-RI	3.05*	3.42**	4.76**	3.85**	3.66**	2.98*	3.47**	---	---	2.98*
	AM2	RS-RI	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	CH1	RS-RI	-2.31*	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	CH2	RS-RI	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
SUBGRUPOS	CM1	RS-RI	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	CM2	RS-RI	---	---	---	---	---	---	6.32**	---	---	---

Tabla32: Valores de t.. (A1) Grupo con longitud de tronco y piernas con menor diferencia. (A2) Grupo con longitud de tronco y piernas con mayores diferencia. (C1) Grupo de menor variación de raquis lumbar. (C2) Grupo de mayor variación de raquis lumbar. Porción superior (RS) e inferior (RI) del rectus abdominis. (H) Hombres. (M) Mujeres

EJERCICIOS DE INCORPORACIÓN (G-III y IV)

AGRUPACIONES		EMGi	S1	S2	S3	S4	S5d	S5i	S6	S7	S8	S11d	S11i	S12d	S12i	S9	S10	
GRUPOS	Población	RS-RI	---	2.12*	2.22*	---	---	---	2.60*	---	---	2.97**	3.84**	2.15*	2.97**	---	---	
	A ₁	RS-RI	---	---	---	---	---	---	3.13**	---	2.05*	3.14**	3.58**	2.54*	3.11*	---	---	
	A ₂	RS-RI	---	---	---	---	---	---	2.46*	---	---	---	3.28**	---	---	---	---	
	C ₁	RS-RI	---	---	---	---	---	---	2.38*	---	---	---	2.38*	---	---	---	---	
	C ₂	RS-RI	3.48*	2.61*	2.91*	3.01*	2.55*	3.73**	3.60**	2.88*	---	3.14*	3.29*	2.84*	2.78*	---	---	
	A _{H1}	RS-RI	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2.25*	2.85**	---	2.13*	---	---
	A _{H2}	RS-RI	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	6.93**	---	---	---	---
	A _{M1}	RS-RI	2.79*	3.00*	2.81*	---	---	---	---	2.92*	---	---	---	---	---	2.27*	---	---
	A _{M2}	RS-RI	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	SUBGRUPOS	C _{H1}	RS-RI	-2.27*	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
C _{H2}		RS-RI	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
C _{M1}		RS-RI	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
C _{M2}		RS-RI	---	---	---	---	---	---	3.76*	---	---	---	---	---	---	---	---	

Tabla 33: Valores de t. (A₁) Grupo con longitud de tronco y piernas con menor diferencia. (A₂) Grupo con longitud de tronco y piernas con mayores diferencia. (C₁) Grupo de menor variación de raquis lumbar. (C₂) Grupo de mayor variación de raquis lumbar. Porción superior (RS) e inferior (RI) del rectus abdominis. (H) Hombres. (M) Mujeres

EJERCICIOS ISOMÉTRICOS (G-V)

Agrupaciones		EMGi	I1d	I1i	I2d	I2i	I3	I4	I5	I6
POBLACIÓN		RS-RI	2.13*	3.22**	3.56**	3.15**	---	---	---	---
GRUPOS	A ₁	RS-RI	2.48**	2.69*	4.04**	3.68**	---	---	---	---
	A ₂	RS-RI	---	2.61*	---	---	---	---	---	---
	C ₁	RS-RI	---	---	---	---	---	---	---	---
	C ₂	RS-RI	3.40*	2.80*	4.56**	2.81*	---	---	---	---
SUBGRUPOS	A _{H1}	RS-RI	---	---	3.04**	2.80*	---	---	---	---
	A _{H2}	RS-RI	---	---	---	---	---	---	---	---
	A _{M1}	RS-RI	3.50**	3.16*	2.69*	2.52*	---	---	---	---
	A _{M2}	RS-RI	---	---	---	---	---	---	---	---
	C _{H1}	RS-RI	---	---	---	---	---	---	---	---
	C _{H2}	RS-RI	---	---	---	---	---	---	---	---
	C _{M1}	RS-RI	---	3.50**	---	---	---	---	---	---
	C _{M2}	RS-RI	---	---	---	---	---	---	---	---

Tabla 34: Valores de t. (A₁) Grupo con longitud de tronco y piernas con menor diferencia. (A₂) Grupo con longitud de tronco y piernas con mayores diferencias. (C₁) Grupo de menor variación de raquis lumbar. (C₂) Grupo de mayor variación de raquis lumbar. Porción superior (RS) e inferior (RI) del rectus abdominis. (H) Hombres. (M) Mujeres

En la población del estudio el t-test mostró diferencias de intensidad de contracción muscular. La porción superior del RA fue significativamente más intensa en los ejercicios de encorvamiento superior C2, C3, C4, C5, en el encorvamiento inferior suspendido de una barra (C6), en las incorporaciones de tronco S2 y S3, en las incorporaciones inferiores con giro S11 y S12 y sobre tabla inclinada (S6), y en los isométricos contra resistencia externa I1 y I2.

Cuando se analizó este factor en función de las variaciones antropométricas en las muestras, el t-test mostró diferencias significativas entre la intensidad de contracción en estas dos porciones del RA. En la mayoría de los ejercicios la intensidad de contracción de la porción superior del RA fue significativamente más intensa. Este resultado se dio en el subgrupo A₁ que mostró menor variación en la longitud de tronco y piernas y en el subgrupo C₂ que mostró mayor variación de curvatura lumbar entre las posiciones de firme y relajado.

Cuando este factor se analizó atendiendo a las variaciones antropométricas entre los dos sexos, el t-test mostró que las diferencias entre el RS y RI se dieron con

más frecuencia en el subgrupo A₁ de mujeres, subgrupo que mostro menor variación en la longitud de tronco y miembros inferiores.

2. VARIABLES ANTROPOMÉTRICAS Y DE GÉNERO.

2.1 SUBGRUPOS A₁ Y A₂ DE VARIACIÓN EN LA LONGITUD DE TRONCO Y MIEMBROS INFERIORES.

Variaciones antropométricas de longitud de tronco y piernas.

El ANOVA y el t-test de variables independientes no mostraron diferencias significativas entre los grupos de sujetos A₁ y A₂ en la comparación de la intensidad de contracción de los músculos del tronco.

Variaciones antropométricas de longitud de tronco y piernas en los sexos.

El ANOVA en los grupos A₁ y A₂ de hombres y de mujeres mostró diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en el músculo oblicuo externo durante la ejecución de los ejercicios C1 y S1. Sin embargo, el t-test de variables independientes no mostró ninguna diferencia significativa entre los subgrupos A₁ y A₂ de hombres y mujeres en la comparación de la intensidad de contracción de los músculos del tronco en los ejercicios seleccionados.

2.2 SUBGRUPOS C₁ Y C₂ DE VARIACIÓN EN LA CURVATURA DORSO-LUMBAR.

Variaciones antropométricas en la curvatura lumbar.

El ANOVA no indicó diferencias significativas a favor de ninguno de los grupos C₁ y C₂ de sujetos en la comparación de la intensidad de contracción de los músculos del tronco. Sin embargo, el t-test de muestras independientes mostró diferencias significativas en el RS en la ejecución de los ejercicios C1 ($t = -2,39^{**}$), S1 ($t = -2,07^{**}$) y C6 ($t = -2,64^{**}$). La intensidad de la contracción en el RS fue significativamente mayor en el grupo de sujetos con mayor variación en la curvatura dorsolumbar.

Variaciones antropométricas en la curvatura lumbar en los sexos.

El ANOVA en los grupos C₁ y C₂ de hombres y de mujeres mostró diferencias ($p \leq 0,01$) en el músculo RS durante la ejecución del ejercicio C6.

El t-test de variables independientes en los subgrupos de hombres C₁ y C₂ mostró como única diferencia significativa la del ejercicio C1 ($t = -2,81^{**}$) sobre el RS. Este mismo análisis en los subgrupos de mujeres presentó diferencias significativas sobre el RS en el ejercicio C6 ($t = -3,11^{**}$). La intensidad de contracción del RS fue mayor en los sujetos con mayor variación en la curvatura dorsolumbar.

3. VALORACIÓN DE LA PERCEPCIÓN DEL ESFUERZO.

El coeficiente de correlación entre la media de la EMGi de la porción superior del RA en cada ejercicio y la puntuación media obtenida en la escala de percepción de Borg, fue débil (0.49). La tabla 35 muestra las medias de la EMG y de las puntuaciones medias en la escala de Borg.

Ejercicios	media EMGi	Puntuación media
C6*	455.13	13.92
S6	401,56	13,98
C2*	313.65	11,48
I1i	301.44	14,98
C1*	289.60	12,02
S1	283.88	13,45
S12	270.15	13,36
C5i*	240.95	10,50
S7	248.84	11,07
S2	243.88	12,76
S12i	235.02	11,60
S11	234.05	12,86
S9i	227.19	9,88
C7*	206.55	11,45
C4	199.25	9,12
C3	198.75	7,45
C9	193.65	11,12
I3	186.44	9,02
S5i	184.46	13,50
C8*	183.18	11,12
S8	179.74	9,21
I2i	161.56	14,00
S4	160.17	12,45
S3*	153.07	9,45

Tabla 35: (*) Ejercicios que presentaron una intensidad de contracción muscular significativamente diferente al que le siguió en el orden según la gradación representada

Discusión

DISCUSIÓN

1. ACTIVIDAD ELÉCTRICA.

Antes de comparar los resultados de nuestra investigación con los de otros autores abordaremos algunos aspectos metodológicos.

Estudios electromiográficos recientes sobre la función de los músculos indican que el lugar de colocación de los electrodos determina la calidad de la señal eléctrica registrada; así, la forma recomendada como la más segura y fiable en estos estudios es su colocación separada, a igual distancia del centro geométrico del vientre muscular en contracción (Clarys y Cabri 1993). De esta forma en uno de nuestros estudios previos (Sarti y cols. 1996) se utilizó el método descrito por Clarys y Cabri (1993). Sin embargo, la presente investigación se planteó con el objeto de limar asperezas metodológicas y posteriormente establecer comparaciones con otros estudios. Por esta razón, adoptamos dentro de lo correcto, la colocación de electrodos más parecida a la de los trabajos electromiográficos de otros autores que estudiaron la musculatura del tronco (Patridge y Walters 1959, Floyd y Silver 1950 y Flint y Gudgeon 1965).

En el campo de la electromiografía cinesilógica, la técnica más utilizada y recomendada por diferentes autores para el análisis de los datos electromiográficos, es el estudio de la señal cruda en el dominio del tiempo (Basmajian y De Luca 1985, Sherif y Gregor 1986, Clarys y Cabri 1993). Con el objeto de poder observar los cambios de la actividad eléctrica en función del tiempo durante un periodo de actividad muscular, esta señal eléctrica deberá sufrir un proceso de rectificación e integración.

$$\frac{1}{t} \int_0^t |EMG(t)| dt$$

Sin embargo, Basmajian advierte que este tipo de procesado de señal es aplicable a intervalos de tiempo estables (t) y lo suficientemente amplios como para proporcionar una medida de variación de la señal suavizada como una función del tiempo.

De esta forma, y atendiendo a lo anteriormente expuesto, podemos explicar las imprecisiones metodológicas de los primeros estudios sobre la musculatura abdominal que utilizaron estadística. Las investigaciones de Lipetz y Gutin (1970), Gutin y Lipetz (1971) y Ekolm y Arborelius (1979) tomaron como datos de estudio algunos de los picos más intensos de la señal eléctrica cruda producidos durante la ejecución del movimiento estudiado. Con ello, la información que se obtuvo en los resultados quedó sesgada, ya que, del tiempo total que duró el movimiento sólo se analizó una pequeña parte de la

señal eléctrica, y además, se seleccionaron datos de señal cruda (μV) que no tienen el mismo valor que la señal rectificadora e integrada ($\mu\text{V} \cdot \text{s}$). Por otra parte, los estudios cinesiológicos, y especialmente en aquellos estudios que seleccionaron los picos de la señal EMG, se debería haber controlado el rango y la velocidad del movimiento, ya que como Monfort y cols. (1996) y Godfrey y Kindig (1977) demostraron, el aumento en la velocidad de ejecución de los ejercicios provoca un aumento de los potenciales de acción por unidad de tiempo. En este sentido, se puede observar, tanto en el estudio de Sarti y cols. (1996 c), como en el presente (fig 37), que en algunos instantes, los picos alcanzados por la intensidad de contracción en los ejercicios de incorporación son más elevados que en los de encorvamiento. Esto se explica por el incremento de la velocidad en las incorporaciones, ya que su rango de movimiento en la unidad de tiempo fue mayor que durante los encorvamientos.

De acuerdo con lo expuesto en los párrafos anteriores, podemos afirmar, que el dato de estudio más completo recomendado para el análisis cinesiológico de la actividad eléctrica de un músculo durante la ejecución de un ejercicio, es la media de la intensidad eléctrica rectificadora e integrada en el tiempo total que dura el ejercicio (Basmajian y De Luca 1985).

Si la señal electromiográfica se utiliza en estudios cinesiológicos donde se compara la actividad eléctrica de un músculo durante la ejecución de un ejercicio en diferentes sujetos o varios ejercicios en el mismo sujeto, debemos asegurarnos de que la señal EMG registrada en cada músculo y ejercicio para cada sujeto sea fiable. Si esto no fuese así, un ejercicio ejecutado por un sujeto tendría infinitos registros EMG diferentes dificultando este tipo de investigaciones. Por esta razón, en el presente estudio se halló la fiabilidad de cada uno de los ejercicios en una muestra de la población. “ *El registro EMG de un músculo durante un ejercicio será fiable en cada sujeto, cuando la intensidad de contracción en varias repeticiones del mismo ejercicio no presente diferencias significativas, y la duración de los registros no varíe* ”. Nuestros resultados indicaron un fuerte coeficiente de correlación de la EMG en cada músculo en las diferentes repeticiones de los ejercicios, mostrándonos una alta fiabilidad en la ejecución de los ejercicios. Sin embargo, el t-test indicó algunas diferencias significativas, pero estas siempre se produjeron a favor de la última repetición analizada. Estos resultados podrían indicar que debido al aprendizaje, los músculos agonistas del movimiento estudiado se activaron de forma más eficaz. Los ejercicios que presentaron diferencias en el t-test fueron aquellos que provocaron mayor intensidad de contracción muscular

(C6, S6), aquellos otros de ejecución más compleja (C5i, S1, S5i, S11i) y en la mayoría de los ejercicios isométricos (I4, I5, I1i, I2i-d).

Otro de los aspectos metodológicos analizado en el presente estudio fue el tratamiento estadístico de la señal electromiográfica. Los estudios más recientes apuntan la necesidad de normalizar o estandarizar la señal electromiográfica en función de una calibración. Con ésta, se pretende relativizar la señal electromiográfica respecto a una norma general para todos los sujetos. La finalidad de este proceso es poder comparar la señal eléctrica de diferentes músculos y sujetos, y reducir diferencias entre ellos (Yang y Winter 1984). Sin embargo, establecer comparaciones de las señales EMG en valor absoluto en el tratamiento estadístico, es una metodología válida mientras no se establezcan comparaciones directas entre diferentes sujetos y músculos (Sarti y cols. 1996 a, Yang y Winter 1984).

En el estudio que presentamos, la correlación del perfil de las curvas de EMG de los músculos durante la realización de los ejercicios del grupo de encorvamiento I y del grupo II, así como entre los ejercicios del grupo de incorporación III y del grupo IV fue fuerte. Sin embargo, la correlación del perfil de las curvas de EMG entre los ejercicios del grupo de encorvamiento con los del grupo de incorporación fue débil. Estos hallazgos no sólo validaron la agrupación de los ejercicios dinámicos del presente estudio, sino que constataron los obtenidos en estudios previos (Monfort y cols. 1997, Sarti y cols. 1996 b y c). Además, el criterio de flexión de la cadera, utilizado para agrupar los ejercicios, quedó ratificado por el hecho de que las correlaciones más negativas entre los ejercicios de incorporación y los de encorvamiento fueron en aquéllos que, según estudios previos (Ricci y Marchetti 1981, Basmajian y De Luca 1985, Flint 1965, La Ban y Raptou 1965, Nachemson y cols. 1986, Guimaraes y Vaz 1991, Andersson y cols. 1997), activaron con mayor intensidad la musculatura flexora de la cadera. En nuestro estudio, estos ejercicios fueron la incorporación de tronco sobre banco profesional (S2), la incorporación de tronco con sujeción de pies (S3) y la incorporación con giro de pelvis y rodillas extendidas (S12d-i). Sin embargo, los perfiles de la EMG en los ejercicios de incorporación S8 y S6, ejecutados con el tronco en posición horizontal o inclinado, correlacionaron bien con los de los encorvamientos. Pensamos que este hecho fue debido a que la flexión activa de la cadera no llegó a producirse. Estos resultados demostraron que la mecánica de ejecución de los ejercicios abdominales determinó un perfil o patrón de la curva de EMG de los músculos específico para cada grupo de ejercicios.

Por otra parte, la menor correlación y la mayor dispersión de la respuesta neural en la musculatura del tronco entre los ejercicios de incorporación constató mayor complejidad en su ejecución. Ésta pudo ser debida a varias causas. Primero, a la necesidad de coordinar mayor número de músculos (RA, OE, ES, Iliopsoas) y articulaciones (raquídeas y cadera). Segundo, a que fueron los ejercicios que se ejecutaron a mayor velocidad. Por último, debido a que estos ejercicios no activaron la musculatura abdominal con sus acciones mecánicas específicas (Monfort y cols. 1997, Sarti y cols. 1996 b y c).

Los resultados de nuestro estudio expuestos hasta este momento sugieren algunas matizaciones a las afirmaciones de Janda y Schmid (1980). Estos autores recomendaron precaución en la utilización de los resultados de los estudios electromiográficos debido a la variabilidad del efecto de los ejercicios en los sujetos. Sin embargo, nuestro trabajo demuestra que los aspectos metodológicos de selección de la muestra, control del ritmo de ejecución y selección de la unidad de medida adecuada para el análisis de datos, son factores determinantes para establecer afirmaciones sobre los comportamientos musculares en ejercicios físicos. Ahora bien, como estos autores indicaron, quizá en sujetos con patologías se produzcan suplencias musculares en la ejecución de un movimiento que puedan modificar el patrón motor.

El análisis estadístico realizado en el presente estudio sobre el comportamiento de los músculos del tronco en los ejercicios de fortalecimiento abdominal es la primera comprobación experimental existente en la literatura científica que constata y valida una sistematización de diferentes ejercicios en grupos según la mecánica de su ejecución. Además, esta sistematización podría ser un instrumento para seleccionar los ejercicios más saludables si tenemos en cuenta: que el criterio de agrupación de los ejercicios fue la participación o no de la cadera, que su movilización determinó la activación del iliopsoas y rectus femoris (Guimaraes y Vaz 1991, Ricci y Machetti 1981, Andersson y cols. 1997), y que los ejercicios que movilizan la cadera (grupo III y IV) provocan un aumento importante de la presión intradiscal, según demostraron Nachemson y Elfström (1970). Este hecho es de suma importancia en el diseño de programas para las distintas edades y ámbitos de aplicación de ejercicios de fortalecimiento abdominal (educativo, recreativo, rehabilitación, deportivo, etc.).

De acuerdo con lo expuesto hasta aquí, podemos decir, que nuestro estudio aportó un nuevo aspecto metodológico a los estudios de electromiografía cinesiológica, éste fue la agrupación de los ejercicios dinámicos de fortalecimiento abdominal.

Todos estos aspectos metodológicos establecidos, y el hecho de que éste sea el primer trabajo que compara en la musculatura del tronco un total de 33 ejercicios de fortalecimiento abdominal en 46 sujetos, nos proporciona un base sólida para matizar, ampliar y consolidar resultados al compararlos con los de otros estudios previos.

1.1 GRADACIÓN DE LOS EJERCICIOS.

Los ejercicios dinámicos de incorporación inferior de pelvis sobre tabla inclinada (S6) y de encorvamiento de pelvis suspendido de una barra (C6) fueron los que mayor intensidad de contracción produjeron en la musculatura del tronco. A continuación, los ejercicios más intensos para el músculo RA fueron el encorvamiento y la incorporación de tronco sobre tabla inclinada (C1, C2, S1) y la incorporación simultánea de miembros inferiores y tronco con rodillas extendidas (S10). Para el músculo OE, la incorporación de tronco sobre tabla inclinada (S1), la elevación de miembros inferiores con inclinación posterior de pelvis (S7) y los encorvamientos inferiores C7 y C8. Para el músculo ES, la elevación simultánea de miembros inferiores con inclinación posterior de pelvis (S7), la incorporación simultánea de miembros inferiores y tronco con rodillas flexionadas y extendidas (S9 y S10) y la incorporación inferior con giro de tronco y sujeción de brazos (S12d-i).

Los resultados obtenidos en el RA con los ejercicios C6 y S10 corroboraron los obtenidos por otros autores (Flint 1965, Walter y Patridge 1957, Gutin y Lipetz 1971, Guimaraes y Vaz 1991 y Richardson y cols. 1992). Sin embargo, Gutin y Lipetz (1971) describieron bajas intensidades en la musculatura abdominal durante la ejecución del ejercicio S10. Las diferencias en estos resultados se debieron a que los sujetos de su estudio no fueron capaces de mantener el cuerpo en equilibrio cuando levantaron miembros inferiores y tronco simultáneamente. Este problema, en nuestro estudio, fue resuelto seleccionando sujetos hábiles, que por tanto, fueron capaces de mantener el equilibrio en la ejecución de este ejercicio. Estos resultados apoyan las afirmaciones de Sarti y cols. (1996 a) sobre la necesidad de seleccionar la muestra en los estudios de las acciones mecánicas con la EMG cinesiología.

A excepción de los ejercicios nombrados en los párrafos superiores, los ejercicios más intensos realizados mediante contracciones dinámicas, fueron aquellos que movilaron los segmentos corporales inferiores. Esto pudo deberse a que la proporción de reparto del peso corporal en los miembros inferiores 10,5% y en la pelvis 13,66%, es mayor que en la cabeza 8,26% y en los brazos 5,77% (Plagenhof y cols. 1983). Otra de

las causas pudo ser que el brazo de palanca fuese mayor en los ejercicios que movilizan los segmentos corporales inferiores. Nosotros creemos que este último factor es de gran importancia, por lo que consideramos que se necesitan estudios mecánicos adecuados para constatar nuestra sugerencia.

El ejercicio isométrico ejecutado descendiendo de forma controlada los miembros inferiores con rodillas extendidas (I5), fue el más intenso de todos los isométricos en los músculos del tronco. Además, su intensidad de contracción fue similar a la conseguida por los ejercicios dinámicos más intensos.

A continuación, sobre la gradación obtenida en nuestros resultados, vamos a analizar aquellos factores que, según la literatura consultada, influyen en la contracción de la musculatura del tronco.

Ejercicios de encorvamiento frente a los de incorporación.

En los ejercicios dinámicos el t-test mostró diferencias significativas en la intensidad de contracción de la musculatura del tronco durante la ejecución de los ejercicios de encorvamiento e incorporación de tronco. Estas diferencias mostraron que la intensidad de la contracción de los músculos OE y ES fue significativamente mayor en los ejercicios de incorporación. Este hallazgo constató los de Godfrey y Kindig (1977), Halpern y Bleck (1979), Ricci y Machetti (1981) y Shirado y Ito (1995), sin embargo, no concordaron con los de otros autores (Ono 1958, Partridge y Walters 1959, Lipetz y Gutin 1970, Gutin y Lipetz 1971, Carman y Blanton 1972 y Gimaraes y Vaz 1991). Estos autores no hallaron diferencias significativas en la intensidad de contracción producida por estos dos tipos de ejercicios. Las discrepancias en los resultados, tal como explicamos anteriormente, pudieron ser debidas a los procedimientos metodológicos. Por otra parte, dado que los ejercicios de incorporación colocan al raquis en una posición inestable (Nachemson y Elfström 1970), nuestros resultados sugirieron que los músculos OE y ES mantuvieron la estabilidad del raquis mediante los mecanismos de la PIA, FTL y PIC. (Sullivan y cols. 1982, Kennedy 1982, Jackson y Brown 1983, Basmajian y De Luca 1985, Richardson y Toppenberg 1990 y Hodges y Richardson 1997).

Por otra parte, nuestro estudio halló que la intensidad de contracción del músculo RA fue significativamente mayor en los ejercicios de encorvamiento de tronco que en los de incorporación, resultados que soportan los estudios de Godfrey y Kindig 1977,

Halpern y Bleck 1979, Ricci y Machetti 1981, Sarti y cols. 1996 b ,c, Monfort 1997 y Shirado y Ito 1995. Sin embargo, Andersson y cols. (1997) hallaron que los ejercicios de incorporación fueron más intensos. Esta diferencia también pudo deberse a los aspectos metodológicos mencionados anteriormente. Nuestros resultados podrían soportar las descripciones de Bogduk y Macintosh 1984, quienes afirmaron que el RA, ante posturas inestables del raquis, no participa en su estabilización a través del mecanismo de la FTL. Por el contrario, el papel estabilizador del RA descrito por Gracovetsky y cols. (1985) no pudo ser demostrado en el presente estudio.

Inclinación de tronco y variación en la posición de los miembros inferiores.

Nuestros resultados mostraron que los ejercicios ejecutados con inclinación de tronco (C1, C2, C6, S1, S2 y S6) y los ejecutados con rodillas extendidas (S10, S12 y I5), fueron más intensos en todos los músculos del tronco que los de diseño similar ejecutados con el tronco en un plano horizontal o con rodillas flexionadas (C3, C4, C7, S3, S4, S8, S9, S11, I4). Estas diferencias no fueron halladas por Gutin y Lipetz (1970), Guimaraes y Vaz (1991) y Moraes y cols. (1995). Esta variación en los resultados pudo deberse a diferencias metodológicas tales como, la angulación de la tabla respecto a la horizontal o al análisis de los datos.

El hecho de que los ejercicios ejecutados con tronco inclinado o con rodillas extendidas fueran más intensos tiene una justificación mecánica. Así, en los ejercicios en los que los miembros inferiores permanecieron extendidos, la longitud desde el centro de masas (CM) de los segmentos corporales a movilizar hasta el fulcro (brazo de palanca) aumentó al alejar la carga del eje de movimiento. De la misma forma, en los ejercicios ejecutados sobre una superficie inclinada (40°-45°) o bien suspendido de una barra (90°) el brazo de palanca fue en aumento hasta que alcanzó la horizontal (Figura 57A) ($A+B$) (Kreighbaum y Barthels 1990). Si la expresión matemática del momento de fuerza (Mf) es $Mf = Fuerza \times longitud$, el aumento del brazo de palanca significa que el momento de fuerza muscular necesario para mover dicha carga deberá aumentar. Así, el momento de fuerza inicial en un ejercicio ejecutado sobre una superficie inclinada (Figura 57A) ($Mf_1 = Fuerza \times A$) será menor que el final ($Mf_2 = Fuerza \times A + B$). Sin embargo, el momento de fuerza muscular de los ejercicios ejecutados sobre una superficie horizontal (Figura 57B) disminuirá al reducirse el brazo de palanca. ($Mf'_1 = Fuerza \times A$) ($Mf'_2 = Fuerza \times A - B$)

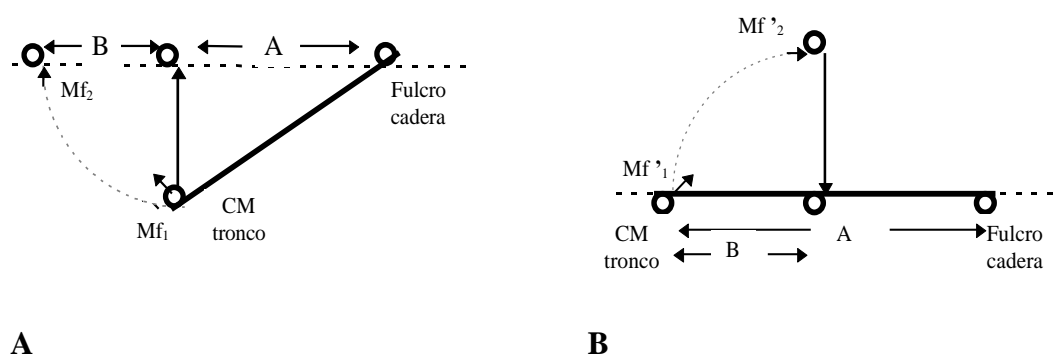


Figura 57: Variación de las palancas en los movimientos ejecutados sobre un plano inclinado (A) y movimientos ejecutados sobre una superficie horizontal (B). (CM) centro de masas del tronco, (Mf_1) momento de fuerza inicial, (Mf_2) momento de fuerza final.

Por otra parte, en nuestro estudio, la intensidad de contracción de los músculos del tronco en los ejercicios de encorvamiento e incorporación ejecutados sobre la superficie de menor inclinación (40°), (C1 y S1), fueron significativamente más intensos que los ejercicios ejecutados sobre una superficie más inclinada (45°), (C2 y S2). Esto pudo deberse, a que en los ejercicios ejecutados con 45° de inclinación del tronco respecto a la horizontal, los músculos flexores de la cadera (iliopsoas, sartorius y rectus femoris) se estiraron debido a la flexión de 90° de las rodillas y a la extensión de 180° de las caderas. La elongación de esos músculos alcanzó una longitud de máxima eficacia mecánica para la generación de tensión muscular activa (Inman y cols. 1952, Williams y Warwick 1985, Kreighbaum y Barthels 1990, Andersson y cols. 1997). Como hemos explicado, al favorecer la activación de la musculatura flexora de la cadera pudo restar eficacia a la musculatura anterior del tronco, tal como indicó Janda y Schmid (1980). Estos resultados podrían indicar que el factor de aumento de las palancas, que facilitó la activación de la musculatura del tronco en algunos ejercicios, no fue determinante en aquellos, cuyo diseño colocó a los músculos flexores de la cadera en una posición de ventaja mecánica.

La **variación en la posición del raquis** durante la realización de los ejercicios también fue un factor que se tuvo en cuenta. En nuestro estudio, el análisis de este factor tuvo errores, ya que los ejercicios seleccionados para ello, el encorvamiento y la incorporación sobre banco profesional (C2 y S2), no consiguieron aislar adecuadamente la posición del raquis sin variar la posición de otras articulaciones, tales como la cadera y la rodilla. Los estudios existentes en la literatura (Gutin y Lipetz 1971, Ekholm y Arborelius 1979 y Lipetz y Gutin 1970, Andersson y cols. 1997) sobre la influencia de la variación de la posición del raquis lumbar en la activación de la musculatura

abdominal aportan resultados contradictorios. Lipetz y Gutin (1970) encontraron que la intensidad de contracción del RA en los ejercicios ejecutados con tronco arqueado fue mayor. Gutin y Lipetz (1971) no encontraron diferencias entre ambos tipos de ejercicios y Ekholm y Arborelius (1979) hallaron menor intensidad en la musculatura abdominal en el ejercicio ejecutado con tronco arqueado. Por otra parte, Andersson y cols. (1997) describieron que la intensidad de contracción de la musculatura abdominal fue mayor cuando la pelvis se colocó en retroversión y se redujo la curvatura lumbar. Estas diferencias en los resultados de los estudios pudieron deberse a varias causas. Lipetz y Gutin (1970) seleccionaron como dato de estudio los picos máximos de las intensidades de los registros electromiográficos, valores que no son válidos para estudios cinesiológicos (Clarys 1985). Gutin y Lipetz (1971) y Ekholm y Arborelius (1979) no controlaron el ritmo de ejecución de los ejercicios. Por último, Andersson y cols. (1997) estudiaron una muestra pequeña (6 sujetos) y, además, normalizaron la EMG con los picos máximos alcanzados en tareas diferentes para cada sujeto y músculo. No sólo las diferencias fueron debidas a estas causas, sino que el diseño de los ejercicios utilizado por los autores fue distinto. Así, Gutin y Lipetz estudiaron ejercicios de incorporación, mientras que Ekholm y Arborelius estudiaron ejercicios de encorvamiento de tronco. Estas contradicciones, en los resultados y la variaciones metodológicas de los estudios existentes, hacen necesario el desarrollo de futuros estudios que controlen todos los factores mencionados y aislen el aumento de la lordosis lumbar.

Sujeción o no sujeción de segmentos corporales. Giro del tronco y de la pelvis.

Al igual que en estudios anteriores (Bankoff y Furlani 1984), nuestros resultados demostraron que los ejercicios ejecutados con sujeción de brazos (S6, S11i, S12d-i) provocaron mayor intensidad de contracción en la musculatura del tronco que los ejercicios ejecutados sin ella (S8). Este hallazgo pudo deberse a que la sujeción de brazos activó los músculos circundantes de la cintura pectoral, facilitando la activación de las cadenas musculares anteriores del tronco, RA y OE (Voss y cols. 1987).

Los ejercicios ejecutados sin sujeción de pies (C4, S4) fueron más intensos que aquellos ejecutados con sujeción (C3, S3), aunque, las diferencias de la intensidad de contracción entre estos ejercicios, sólo fueron estadísticamente significativas en el grupo de incorporación. Este hallazgo corroboró los resultados de Flint (1965), Lipetz y Gutin (1970) y Gutin y Lipetz (1971). Sin embargo, en un estudio reciente, Andersson y cols. (1997) no encontraron diferencias en la intensidad de contracción de la musculatura del

tronco provocada por este factor en el ejercicio de incorporación de tronco. La razón de esta discrepancia pudo ser, como hemos comentado anteriormente, la pequeña población de su estudio, el procedimiento seguido para normalizar los datos de EMG y la falta de criterios de inclusión para la selección de los sujetos en los estudios de EMG cinesiología (Sarti y cols. 1996 a). Así, de los 6 sujetos del estudio de Andersson y cols. (1997), sólo dos fueron capaces de realizar el ejercicio de incorporación de tronco sin sujeción de pies, resultado que no podemos considerar consistente frente a todas las medidas del tratamiento de datos realizadas en nuestro estudio y al número de participantes de nuestra población (46 sujetos).

El hecho de que la sujeción de pies disminuya significativamente la actividad de la musculatura abdominal, podría reforzar las descripciones de Janda y Schmid 1981, Lipetz y Gutin 1970, Gutin y Lipetz 1971, Godfrey y Kindig 1977 y Guimaraes y Vaz 1991, quienes afirman que este factor facilita la activación de los flexores de la cadera disminuyendo la de la musculatura abdominal. Aquellas afirmaciones cobran más fuerza al observar en nuestro estudio, que aunque la sujeción de pies influyó en los ejercicios de encorvamiento, no provocó diferencias significativas debido a la exclusión del movimiento de cadera (Sarti y cols. 1996 b y c).

Resumiendo, podemos afirmar que la sujeción de brazos facilitó la activación de la musculatura del tronco, mientras que la sujeción de los pies provocó la disminución de la activación de la musculatura abdominal.

La influencia del **giro del tronco o de la pelvis**, fue otro de los factores analizados en el presente estudio. Los ejercicios ejecutados con giro de tronco contralateral (C5i) o con sujeción de brazos y giro de la pelvis contralateral (S12i y S11i) fueron significativamente más intensos en los músculos RA y OE que los ejercicios ejecutados con giro homolateral o sin giro. Sin embargo, la activación del músculo ES fue mayor en los giros homolaterales. Estos resultados corroboraron los obtenidos por Schultz y cols. (1985), además de constatar las descripciones de anatomía clásica (Williams y Warwick 1985, Rouviere 1986). Los resultados de otros estudios electromiográficos previos sobre la actividad de la musculatura abdominal en ejercicios ejecutados con giros (Ono 1958, Patridge y Walters 1959, Ekholm y Arborelius 1979, Moraes y cols. 1995), no fueron comparables a los de este estudio, ya que las posiciones iniciales utilizadas para la práctica de los ejercicios fueron distintas. Esta variación en las posiciones iniciales conlleva una inversión de las acciones musculares por la variación de la acción de la gravedad respecto al músculo movilizador en el ejercicio. Además, el cambio de posición del tronco provoca variación del ángulo de tracción de

los fascículos musculares del RA y OE, lo que afectó a su eficacia mecánica (Kreighbaum y Barthels 1990). Estos resultados corroboraron de nuevo las descripciones clásicas sobre la función de estos músculos (Williams y Warwick 1985, Rouviere 1986, Kapandji 1981, Kreighbaum y Barthels 1990, Smith y cols. 1981).

Nuestro resultados, indirectamente, confirman las teorías del método de facilitación neuromuscular propioceptiva (PNF) desarrollado por Kabat en 1950. Este método tiene como fin promover y acelerar la respuesta de los mecanismos neuromusculares por medio de la estimulación propioceptiva. Para ello utiliza patrones de movimiento en masa, de carácter espiral y diagonal, que facilitan la respuesta de los músculos y nos ayudan a fortalecerlos. Estos patrones de movimiento en masa concuerdan con las características espirales y rotativas de la estructura ósea, articulaciones y sus respectivas estructuras ligamentosas. También se ajustan a la alineación topográfica de las inserciones musculares y a las características estructurales de cada músculo en particular. Estos patrones de movimiento tienen como finalidad reproducir movimientos habituales y naturales, provocando movimientos combinados de flexión-extensión, abducción-adducción y rotación interna-externa para facilitar la activación muscular. De acuerdo con la finalidad del método PNF, los ejercicios con giro de tronco (C5i) y los de giro de pelvis con sujeción de brazos (S11i y S12i) cumplieron con el patrón de movimiento de cabeza, cuello y tronco mediante flexión, adducción y rotación interna (Voss y cols. 1987), facilitando la activación de todos los músculos del tronco. Otra explicación a estos resultados podría ser que durante la primera fase de los ejercicios C5i, S11i y S12i el tipo de tensión activa desarrollada por los músculos RA y OE fuese diferente. En el ejercicio C5i, el movimiento de ida produjo una contracción concéntrica del RA y OE, mientras que en el S11i y S12i fue excéntrica. En la fase final o de retorno de estos ejercicios, el tipo de contracción se invirtió. Aunque la literatura demuestra que en la fase concéntrica de un ejercicio la tensión activa de la contracción concéntrica es mayor que la de la excéntrica (Moritani 1993), la elevación de tronco en el C5i o miembros inferiores en S11i y S12i, es lo que hace que el movimiento global sea más intenso, ya que el RA y el OE desarrollan ambos tipos de contracción en distintas fases de estos ejercicios.

Estos resultados han demostrado que en la ejecución de ejercicios de fortalecimiento abdominal, el giro implica mayor activación de la musculatura contralateral del abdomen. Pero, también debemos tener en cuenta que la rotación en el raquis lumbar provoca peligro de cizallamiento de los discos intervertebrales. Este peligro de cizallamiento es debido a que la forma y la orientación de las carillas de los

procesos articulares de las vértebras, sitúan su eje de rotación por detrás del cuerpo vertebral (base de los procesos espinosos) (Kapandji 1982, White y Panjabi 1990). Sin embargo, este peligro de cizallamiento disminuye cuando se trata de movimientos de giro en las articulaciones dorsales. En estas articulaciones, el eje de giro reposa sobre el cuerpo vertebral y proporciona mayor rango de movimiento en el eje axial. Esto hace que la tendencia a generar fuerzas laterales que desplacen los cuerpos vertebrales sea menor. Por los motivos expuestos, pensamos que *el ejercicio de encorvamiento con giro contralateral de tronco (C5i) es el más seguro dado que no existe movimiento en el raquis lumbar y el más eficaz en términos de intensidad de la actividad eléctrica.*

Estos hallazgos sobre el giro de tronco demostraron que el músculo RA participó de forma importante en él. Este hallazgo es importante debido a que los textos de anatomía clásica (William y Warwick 1982, Rouviere 1986) únicamente hablan de su acción de flexión del raquis, mientras que nosotros demostramos su participación activa en la rotación de tronco. Nosotros, también consideramos que el hecho de que la intensidad de la contracción de este músculo, en el giro contralateral, fuera mayor que en línea recta, fue debido a que tuvo que soportar mayor proporción de la carga, ya que estaba en mejor disposición mecánica que el RA homolateral al sentido del giro del tronco.

Elevación simultánea de tronco y miembros inferiores.

Los ejercicios de incorporación simultánea de tronco y miembros inferiores (S9 y S10) fueron más intensos para la musculatura del tronco que los de incorporación ejecutados sobre un plano horizontal donde sólo se movilizó el tronco o la pelvis. Nuestros resultados pudieron deberse a la cocontracción de toda la musculatura del tronco. Ésta fue necesaria para estabilizar el raquis y la pelvis ante una situación inestable, debido a una base de sustentación del cuerpo pequeña en este ejercicio. Estos resultados confirmaron los obtenidos por Flint (1965) y Gimaraes y Vaz (1991). Por otra parte, Gutin y Lipetz (1971) no hallaron que el ejercicio de incorporación simultánea fuera el más intenso de los de su estudio, aunque aludieron problemas de equilibrio en los sujetos que los ejecutaron.

En el presente estudio se introdujo el ejercicio (C9) cuyo diseño es la primera vez que se analiza en la literatura científica sobre este tema. Su ejecución fue equivalente a la de los ejercicios referidos en el párrafo anterior. Sin embargo, la diferencia consistió en que se movilizó el tronco y la pelvis excluyendo la participación activa de los

músculos flexores de la cadera. La intensidad de contracción del RA en este ejercicio no fue la esperada, ya que fue inferior a la de otros encorvamientos superiores (C3 y C4) e inferiores (C7 y C8). Desde nuestro punto de vista, el hecho de obtener menor intensidad de contracción, a pesar de movilizar simultáneamente segmentos corporales superiores e inferiores, pudo deberse a que la carga a movilizar pudo ser menor que en las incorporaciones o a que al presionar con los pies sobre el suelo, se ofreció un punto fijo a la musculatura extensora de la cadera. La activación de esta musculatura pudo ayudar a ejecutar la inclinación posterior de pelvis, disminuyendo por tanto la carga a movilizar por los músculos RA y OE.

Ejercicios isométricos

Los ejercicios isométricos más intensos para el RA y OE fueron los ejercicios de descenso controlado de miembros inferiores estabilizando la pelvis (I5 e I4). Además, en el ejercicio que se ejecutó con rodillas extendidas manteniendo el raquis en contacto con el suelo (I5), la intensidad de contracción de los músculos RA y OE fue significativamente mayor que en el realizado con piernas flexionadas (I4). Esta diferencia en los resultados quizá fue debida al aumento de la longitud de las palancas en el ejercicio I5.

Cuando analizamos el resto de ejercicios isométricos, nos llamó la atención que el ejercicio resistido de tronco (I1i) fue el más intenso para los músculos RA y ES, mientras que el ejercicio de giro resistido de pelvis (I2d) fue el más intenso para el OE. Estos resultados pudieron ser debidos a la propia anatomía de los músculos, ya que la disposición de cada uno de éstos en los ejercicios pudo resultar más eficaz debido a la dirección de sus fibras.

2. DIFERENCIAS ANTROPOMÉTRICAS EN LOS SUJETOS.

Los resultados sobre la intensidad de la contracción de la musculatura del tronco en cada ejercicio, en función de las variables antropométricas, pusieron de manifiesto que sólo la variación de la curvatura dorso-lumbar, desde la postura erecta de firme a la de relajada, produjo diferencias significativas. De esta forma, en los sujetos con mayor variación, los ejercicios ejecutados sobre planos inclinados (S1 y C1) y el ejecutado suspendido de una barra (C6) provocaron mayor intensidad de contracción en todos los

músculos estudiados. Esto, pudo ser debido a que los sujetos con estas características tuvieran mayor rango de movimiento en la flexión del tronco que el resto de los sujetos del estudio. El hecho de que sólo se produjeran diferencias de intensidad de activación de los músculos del tronco en los ejercicios C1, S1 y C6, pudo deberse, a que en éstos, la posición del cuerpo y la acción de la gravedad provocaron aumento de la lordosis lumbar. En el ejercicio C6, el aumento de la lordosis lumbar se debió al hecho de tener que mantener el cuerpo suspendido de una barra mediante una prensión de las manos. Para esto fue necesario colocar los miembros superiores elevados por encima de la cabeza con una abducción en la articulación escápulo-humeral mayor de 90°. Además, en este ejercicio se mantuvieron los miembros inferiores con una flexión de cadera, también mayor de 90°. Esto, se consiguió por la contracción isométrica del músculo iliopsoas (como músculo más potente entre los músculos flexores de la cadera). Así, en el ejercicio C6 el aumento de la lordosis lumbar se debió a dos factores: el primero mecánico o de ajuste postural, y el segundo por la tensión muscular en el iliopsoas. En el ejercicio C1 y S1, el aumento de la lordosis lumbar se debió al hecho de colocar los músculos flexores de la cadera en una posición que generó en ellos gran tensión (Guimaraes y Vaz 1991, Ricci y Machetti 1981). Si la curvatura dorso-lumbar aumenta en la postura inicial, y realizamos ejercicios que al final de su ejecución la deshacen totalmente, someteremos a los músculos anterolaterales y a los posteriores del tronco a una longitud mayor a la de reposo en las diferentes fases del movimiento. Atendiendo a la relación longitud tensión (Guyton 1988, Kreigbaun y Barthels 1990) de los músculos penniformes, sabemos que estos son capaces de generar mayor intensidad de contracción cuando se colocan a longitudes ligeramente mayores a las de reposo. De acuerdo con esto, podemos decir que, en estos sujetos, durante la ejecución de los ejercicios S1, C1 y C6, esta variable antropométrica determinó el aumento de la intensidad de contracción de los músculos estudiados.

Los resultados de la influencia de las diferencias antropométricas sobre la intensidad de contracción muscular, en los subgrupos de hombres y en los de mujeres, nos indicaron, de nuevo, que se produjeron diferencias en el músculo rectus abdominis. De esta forma, la contracción del RS fue más intensa en los subgrupos con mayor variación en la curvatura dorso-lumbar entre las dos posiciones. En el subgrupo de hombres este resultado se apreció en el ejercicio de encorvamiento de tronco sobre tabla inclinada (C1), y en el subgrupo de mujeres, en el de encorvamiento inferior suspendido de una barra (C6). Las causas de estos resultados serían las referidas en el párrafo anterior (Guyton 1988, Kreingbaung 1981). El hecho de que el mismo factor (aumento

de la lordosis lumbar) produjera el mismo efecto, pero en dos ejercicios distintos en función del sexo, podría justificarse por las variaciones en el reparto del peso corporal entre ellos (Plagenhoef 1983). El sexo masculino, acumula en el tronco el 20,10% del peso corporal frente al 17,02% de las mujeres. Sin embargo, el sexo femenino acumula en las extremidades inferiores y pelvis el 18,43% del peso corporal frente al 16,68% de los hombres

Podemos concluir que aquellos ejercicios que supongan la movilización de segmentos corporales inferiores y sean ejecutados en posiciones que colocan a la pelvis en anteversión, con el consiguiente aumento de la curvatura lumbar, serán más intensos para las mujeres que para los hombres en el RS. Sin embargo, aquellos ejercicios que supongan la movilización de segmentos corporales superiores con la característica anteriormente citada, serán más intensos en el RS para los hombres que para las mujeres. *Por tanto, nuestros resultados sugieren que, para la selección de ejercicios de fortalecimiento abdominal y su aplicación práctica, deberemos tener en cuenta las diferencias de reparto de peso corporal entre sexos.* A pesar de nuestros resultados, creemos necesario el desarrollo de estudios que analicen de forma específica estas variables.

3. PORCIÓN SUPERIOR E INFERIOR DEL MÚSCULO RECTUS ABDOMINIS.

Los resultados en la población estudiada, mostraron que la porción superior del músculo RA fue más activa que la inferior siempre que existieron diferencias significativas entre ellas. Nuestros resultados corroboraron los hallazgos obtenidos por Sarti y cols. (1996 a), Lipetz y Gutin (1970), Gutin y Lipetz (1971), Monfort (1996), Carman y Blanton (1972) . Este hallazgo se produjo de forma ostensible en el grupo de ejercicios de encorvamiento, y con mayor relevancia en los superiores (grupo I). Sin embargo, en el grupo de ejercicios de incorporación, sólo dos de ellos activaron el RS con una intensidad significativamente mayor que el RI. Estos dos ejercicios fueron la incorporación de tronco en banco profesional (S2) y la incorporación de tronco sobre una superficie horizontal con sujeción de pies (S3).

Este factor fue analizado de nuevo en los grupos de sujetos con diferencias antropométricas, tanto en los grupos de la muestra, como en los subgrupos de los dos sexos. Los resultados coincidieron con los hallados en la población del estudio referidos en el primer párrafo. Sin embargo, en este caso, las diferencias se dieron con mayor

frecuencia en el grupo de sujetos con menor variación entre la longitud de tronco y miembros inferiores, y específicamente en el subgrupo de mujeres y en el grupo de sujetos con mayor variación en la curvatura dorsolumbar. Nos llamó la atención que sólo en el subgrupo de hombres con menor variación en la longitud de tronco y miembros inferiores, la intensidad de contracción de la porción inferior del RA fue significativamente mayor que la superior durante la ejecución de los ejercicios de encorvamiento e incorporación de tronco sobre tabla inclinada (C1 y S1). Este resultado podría ser atribuible a la variación de las palancas, ya que no se obtuvo en los ejercicios de diseño similar realizados sobre plano horizontal. Aunque, al igual que en otras ocasiones a través de nuestro estudio, consideramos que para poder tener en cuenta esta apreciación, se deberían realizar estudios biomecánicos sobre estos ejercicios.

Por otra parte, cuando se compararon las intensidades de contracción provocadas en la misma porción del RA por dos ejercicios distintos, nuestros resultados mostraron que la activación de la porción superior e inferior del RA fue significativamente más intensa en los ejercicios que movilizaron segmentos corporales inferiores que en los que movilizaron segmentos corporales superiores. Este hallazgo corroboró, en parte, nuestro estudio previo (Sarti y cols. 1996 a).

De acuerdo con nuestros resultados, podemos concluir que las diferentes porciones del RA son activadas de acuerdo con una norma. La porción superior del RA se activara con mayor intensidad que la inferior siempre que existan diferencias entre ambas. La movilización de segmentos corporales inferiores activa con mayor intensidad la porción superior y la inferior del RA que la movilización de segmentos corporales superiores.

Al interpretar los resultados obtenidos con la muestra de subgrupos de diferente sexo debemos tener en cuenta que la muestra de sujetos, cuando fue dividida en subgrupos en función de las diferencias antropométricas en los sexos, no fue lo suficientemente amplia, como para poder considerarse estadísticamente aceptable.

4. PERCEPCIÓN DEL ESFUERZO.

Los resultados sobre la correlación entre los valores de la escala de Borg y los valores de la intensidad de contracción de la porción superior de RA en cada ejercicio, indicó una falta de capacidad de los sujetos del estudio para percibir con precisión el grado del esfuerzo que supone la ejecución de cada uno de los ejercicios. A diferencia de estudios anteriores (Borg 1962) que validaron la escala de Borg con la frecuencia

cardíaca como variable fisiológica, nuestros resultados no validaron la escala de Borg con la actividad eléctrica muscular como variable fisiológica. Sin embargo, para interpretar con precisión estos resultados debemos tener en cuenta que los sujetos puntuaron gran número de ejercicios en la escala de Borg. Quizá, esto hizo que no fueron capaces de discernir con precisión los estímulos que presentaron pequeñas diferencias.

Por las razones expuestas en los párrafos anteriores, tratamos de nuevo los datos estableciendo correlaciones sólo con aquellos ejercicios que presentaron diferencias significativas de intensidad en la activación del RS. Entonces, los resultados mostraron una alta correlación entre la percepción del esfuerzo y la EMG. Atendiendo a estos resultados, podemos decir, que los sujetos del estudio sólo fueron capaces de graduar con precisión aquellos ejercicios que provocaron diferencias significativas de intensidad EMG en el músculo.

La validación de la escala de Borg para la ejecución de ejercicios puede ser un instrumento de campo muy útil para la prescripción individualizada de ejercicios. Este instrumento podría permitirnos adecuar la carga de los ejercicios a la habilidad de los diferentes sujetos para ejecutarlos, en razón de su complexión y nivel de ejercicio físico practicado.

5. SUGERENCIAS

Es un hecho que la musculatura abdominal participa en la estabilidad de raquis. Así, nuestros resultados, indirectamente, han constatado de nuevo este conocimiento, por esto nos parece importante sugerir que siempre que hagamos uso de ejercicios de fortalecimiento abdominal deberemos buscar su desarrollo para mantener la estabilidad del raquis. De acuerdo con esto, es absurdo que en el campo de la actividad física y el deporte se continúen utilizando test para la valoración de la resistencia o la fuerza abdominal ejecutando el ejercicio de incorporación de tronco (S3). Como hemos demostrado en el estudio, este tipo de ejercicios no activa la musculatura abdominal de forma específica y está reconocido como perjudicial para la estabilidad del raquis (Nachemson y Elfström 1970, Vincent y Britten 1980). Además en estos tests, se pide ejecutar el mayor número de repeticiones en un tiempo determinado, lo que implica aumentar la velocidad de ejecución de los ejercicios. Este factor agrava más la situación

de inestabilidad del raquis (Lison y cols. 1997) y desarrolla la musculatura del tronco mediante contracciones no específicas de su acción mecánica (Monfort y Sarti 1995).

Los estudios más recientes (Vincent y Britten 1980, Quinney y Smith 1984, Faulkner y Stewart 1982) recomiendan el encorvamiento de tronco (C4) como el ejercicio más adecuado para fortalecer la musculatura abdominal y para evaluar su resistencia. Sin embargo, estos autores dicen que el encorvamiento de tronco es un ejercicio de menor fiabilidad que la incorporación de tronco en el test del minuto. Lo que deberíamos buscar es valorar la capacidad de la musculatura del tronco para estabilizar pelvis y tronco tanto en la dinámica como en la estática y no la capacidad de repetir con fidelidad el mayor número de movimientos en un tiempo determinado. Nosotros proponemos la utilización de otros ejercicios para fortalecer y valorar la musculatura abdominal de acuerdo con su función de estabilización del raquis, y creemos necesaria la eliminación en el test del factor velocidad.

Entre los ejercicios dinámicos, los encorvamientos tanto superiores como inferiores (grupo I y II) fueron los que se ejecutaron con menor rango de movimiento, presentaron menor dispersión en la respuesta neural y mayor coordinación entre los diferentes músculos. Nosotros sugerimos la utilización de los ejercicios de encorvamiento inferior para aquellos sujetos con buena condición física y adecuada habilidad para ejecutar correctamente los ejercicios. Sin embargo, en sujetos menos hábiles en la ejecución de ejercicios recomendaríamos los encorvamientos superiores. Concretamente el ejercicio ejecutado con giro (C5d-i), provocó una activación de la musculatura del tronco similar a la de los encorvamientos inferiores ejecutados sobre plano horizontal.

Como se desprende de nuestros resultados, consideramos que debemos abandonar la sujeción de pies para el fortalecimiento de la musculatura antero-lateral del tronco, ya que con ello no conseguiremos el objetivo deseado. Según estudios previos (Ricci y Machetti 1981, Axler y McGill 1997, Andersson y cols. 1997), con la sujeción de pies lo que obtendremos será un aumento de la activación de la musculatura flexora de la cadera en detrimento de la musculatura anterolateral del tronco. A todo esto, hay que añadir el peligro de lesión raquídea durante la ejecución de ejercicios de incorporación de tronco (grupo III) por el aumento de presión intradiscal (Nachemson y Elfström 1970). Además, como han demostrado nuestros resultados, no sólo no debemos sujetar los pies en los ejercicios de fortalecimiento abdominal dinámicos, sino que la ejecución de ejercicios con sujeción de brazos sería una alternativa más eficaz y hasta el momento original en el campo de la actividad físico-deportiva.

En los ejercicios estáticos, la dispersión de la respuesta neural de la musculatura en los ejercicios isométricos (grupo V) fue menor. De estos, los más intensos fueron los de descenso controlado de miembros inferiores controlando la posición de la pelvis y del raquis lumbar adosados al suelo (I4 e I5). Sin embargo, la ejecución correcta de estos ejercicios fue compleja. Mientras, los ejercicios resistidos de tronco y pelvis (I1d-i y I2d-i) fueron de ejecución más fácil, aunque de menor intensidad de contracción que los anteriores. Los hallazgos sobre los ejercicios isométricos son relevantes porque la ausencia de movimiento en el raquis evita dos factores considerados de riesgo en la patología lumbar, la flexión y rotación vertebral, factores que conllevan el incremento de la presión intradiscal y la inestabilidad raquídea (White y Pandjabi 1981). Sin embargo, los ejercicios isométricos también presentan problemas, ya que la capacidad de los músculos del abdomen para ejecutar una función dinámica afecta positivamente sobre su función estática (Wohlfahrt y cols. 1993), mientras que la utilización de ejercicios isométricos como única forma de trabajo, mejora la fuerza isométrica pero no influye en la generación de fuerza rápida (Shirado i Ito 1995).

De acuerdo con nuestros resultados, y corroborando los de estudios previos, (Richardson y cols. 1992, Richardson y Toppenberg 1990) los ejercicios más eficaces y seguros para el fortalecimiento de la musculatura del tronco, con el fin de mejorar la estabilidad del raquis, fueron los ejercicios que conllevaron giro o su intención sin movimiento en el raquis lumbar: encorvamientos de tronco con giro (C5d-i), y los isométricos con giro de tronco o pelvis (I1d-i e I2d-i). Sin embargo, si los sujetos poseen un buena condición de la musculatura del tronco para ejecutar correctamente los ejercicios de fortalecimiento abdominal, los ejercicios más adecuados para provocar un estímulo suficiente serían los encorvamientos inferiores más intensos, el C6 y el S6, y los isométricos de descenso de miembros inferiores controlando la posición pegada al suelo de la pelvis y el raquis lumbar (I4 e I5). Según estas afirmaciones, debemos tener en cuenta que para aplicar estos ejercicios en los diferentes sistemas de entrenamientos deberemos combinar los ejercicios dinámicos ejecutados a velocidad lenta con los estáticos.

Los resultados de nuestro estudio abren una vía para posibles líneas futuras de investigación. Por ejemplo, los resultados obtenidos con el perfil de la actividad eléctrica podrían hacer de éste, un nuevo dato a tener en cuenta en el estudio del movimiento; un nuevo dato con grandes posibilidades de ser investigado en otras áreas del conocimiento. Por ejemplo, en el ámbito de las matemáticas, el perfil de la actividad eléctrica en diferentes movimientos podría representarse como una función matemática y determinar

su relación con la buena ejecución de éstos. Con estas funciones matemáticas de las curvas de EMG se podrían crear sistemas de redes neuronales para el reconocimiento de movimientos y predicción de los procesos de su aprendizaje. Estos resultados podrían aplicarse posteriormente a otros ámbitos como el terapéutico, educativo, ergonómico, etc. En ingeniería se podría analizar las secuencias y la coordinación de los perfiles EMG de los músculos en movimientos simples y complejos para la creación de sistemas de patrones motores modelo, similares a los de los seres humanos que puedan aplicarse en la robótica y también en ergonomía.

Esta nueva orientación del estudio del movimiento supone la utilización de avances tecnológicos que en la actualidad la Unidad de Cinesiología de la Universidad de Valencia está desarrollando en colaboración con el Departamento de Comunicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia. Nuestro proyecto actual consiste en el desarrollo de un sistema integrado de sincronización y almacenamiento de los diferentes tipos de datos que recogemos con nuestro instrumental. Estos datos, almacenados con una sincronización de alta precisión, en la actualidad engloban registros electromiográficos, parámetros cinemáticos del raquis, sonido e imagen de las ejecuciones o posturas corporales. Éste es un sistema de absoluta novedad en el campo de la cinesiología y de la comunicación y que actualmente ya ha producido algunos resultados (Guerri 1997, Guerri y cols. 1998).

Conclusiones

CONCLUSIONES

1°- Se validó, mediante EMG de superficie, la distribución de 25 ejercicios de fortalecimiento abdominal en grupos de encorvamiento e incorporación, en función de la mecánica de su ejecución.

2°- Los ejercicios del grupo de encorvamiento superior fueron los que presentaron mayor coordinación entre los músculos del tronco y menor variación de su respuesta neural.

3°- Los ejercicios de fortalecimiento abdominal dinámicos que activaron de forma más intensa la musculatura del tronco en la población del estudio fueron: el encorvamiento de la pelvis suspendido de una barra (C6) y la incorporación de la pelvis sobre una tabla inclinada (S6).

4°- El ejercicio de fortalecimiento abdominal isométrico más intenso para la musculatura del tronco fue el de descenso controlado de miembros inferiores con rodillas extendidas, controlando la posición de la pelvis en retroversión y manteniendo el raquis lumbar en contacto con el suelo (I5).

5°- Los ejercicios de encorvamiento provocaron mayor intensidad de contracción en el músculo rectus abdominis que los ejercicios de incorporación siempre que existieron diferencias significativas entre ellos.

6°- Los ejercicios de incorporación provocaron mayor intensidad de contracción en los músculos obliquus externus y erector spinae que los ejercicios de encorvamiento.

7°- Los ejercicios de nuestro estudio ejecutados sobre planos inclinados 40° respecto a la horizontal, provocaron una intensidad de contracción en la musculatura del tronco, significativamente superior que la de los ejercicios de diseño mecánico similar ejecutados sobre una superficie horizontal.

8°- La ejecución de ejercicios con o sin sujeción de pies provocó diferencias significativas en la intensidad de contracción de los músculos del tronco, sólo en los ejercicios de incorporación de tronco. La activación del músculo obliquus externus y la porción inferior del rectus abdominis fue mayor en el ejercicio ejecutado sin sujeción de pies (S4)

9°- Los ejercicios ejecutados con sujeción de brazos provocaron mayor intensidad de contracción en la musculatura del tronco que los ejercicios de diseño similar ejecutados sin ella.

10°- Los ejercicios de incorporación ejecutados sobre un plano horizontal, donde se movilizaron segmentos corporales inferiores, provocaron mayor intensidad de

contracción de los músculos rectus abdominis y obliquus externus que aquellos donde se movilizaron segmentos corporales superiores.

11°- Los ejercicios de encorvamiento ejecutados sobre plano horizontal e inclinado, donde se movilizaron segmentos corporales inferiores, provocaron mayor intensidad de contracción del músculo obliquus externus que aquellos donde se movilizaron segmentos corporales superiores. Sin embargo, en el músculo rectus abdominis esto sólo se dio cuando existieron diferencias significativas entre los ejercicios.

12°- Cuando existieron diferencias en la intensidad de la contracción entre la porción superior e inferior del músculo rectus abdominis, la de la porción superior siempre fue mayor. Estas diferencias no mostraron relación con la movilización de segmentos corporales superiores o inferiores.

13°- Los ejercicios ejecutados con giro de tronco provocaron mayor intensidad de contracción del músculo rectus abdominis contralateral al sentido del giro que los ejercicios ejecutados con movimientos de tronco en el plano sagital.

14°- Las variaciones antropométricas de longitud de tronco y miembros inferiores entre los sujetos de la población y las diferencias de esta variable en ambos sexos, no afectaron la intensidad de la activación de la musculatura del tronco durante la ejecución de ejercicios de fortalecimiento abdominal.

15°- Las diferencias antropométricas de variación de la curvatura dorso-lumbar entre las posiciones de firme y relajado influyeron en la activación la porción superior del músculo rectus abdominis durante la ejecución de los ejercicios de encorvamiento e incorporación de tronco sobre tabla inclinada (C1 y S1) y el de encorvamiento inferior suspendido de una barra (C6). La intensidad de contracción de la porción superior del rectus abdominis fue significativamente mayor en el grupo de sujetos con mayor variación de la curvatura dorso-lumbar.

16°- Las diferencias antropométricas de variación de la curvatura dorso-lumbar en los sexos influyó en la intensidad de contracción del rectus abdominis en los ejercicios de encorvamiento inferior suspendido de una barra (C6) y en el de encorvamiento de tronco sobre tabla inclinada (C1). La intensidad de contracción de la porción superior del músculo rectus abdominis fue más intensa en los subgrupos de mujeres y hombres con mayor variación de la curvatura dorso-lumbar.

17°- La percepción del esfuerzo, medida mediante la escala de Borg, sólo correlacionó fuertemente con la intensidad de contracción registrada en la porción superior del músculo rectus abdominis, en aquellos ejercicios en los que la

electromiografía mostró diferencias significativas en la intensidad de contracción muscular.

Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA¹

- Almond L. Sports pedagogy: Translating theory to practice. En Durán, Hernández y Ruiz Eds. Humanismo y nuevas tecnologías en la educación física y el deporte I.N.E.F. Madrid 1990; 67-72.
- Allan CEL. Muscle action potentials used in study dynamic anatomy. Brit J Phys Med 1948; 11: 66-73.
- Andersson E, Nilsson J, Zhijia Ma, Thortensson A. Abdominal and hip flexor muscle activation during various training exercises. Eur J Appl Physiol 1997; 75:115-123.
- Andersson GBJ, Ortengren F, Nachemson A. Intradiscal pressure, intra-abdominal pressure and myoelectric back muscle activity related to posture and loading. Clin Orthop 1977; 129:156-164.
- Andersson GBJ. Loads of the lumbar spine: in vivo measurements and biomechanical analyses. In Winter DA, Norman RW, Wells RP et al (eds): Biomechanics IX, International Series on Biomechanics, Human Kinetics, Champaign, IL 1983; 32
- Armstrong N. Health-related physical activity. Issues in Physical Education. Cassell, Londres: Armstrong y Sparkes, 1991; 139-154.
- Axler C, McGill S. Low back loads over a variety of abdominal exercises : searching for the safest abdominal challenge. Medicine & Science in Sports and Exercise 1997; 29 (6):804-811.
- Bankoff A, Furlina J. Electromyographic study of the rectus abdominis and external oblique muscles during exercises. Electromyogr clin Neurophysiol 1984; 24:501-510.
- Bartelink DL. The role of the abdominal pressure in relieving the pressure on the lumbar intervertebral. J Bone Joint Surg 1957; 39B:718.
- Basmajian JV, DeLuca CJ. Muscle alive. Their function revealed by electromyography. Baltimore: Williams & Wilkins, 1985.
- Bearn J. The significance of the activity of the abdominal muscles in weight lifting. Acta anat. 1961; 45:83-89.
- Beevor CE. Croonian lectures on muscular movements and their representation in the central nervous system. London: Adlard 1904.

¹ Las referencias bibliográficas se muestran según las normas establecidas por el Comité Internacional de Editores de Revistas Biomédicas (VANCOUVER).

- Bennett J, Murphy D. Sit-ups and push-ups only- Are we heading for muscular imbalance. JOPERD 1995; January 67-72.
- Berzin F, Fortinguerra C. EMG study of the anterior, superior and posterior auricular muscles in man. Annals of Anatomy 1993; 175:195-197.
- Bigos SJ, Spengler DM, Martin NA et al. Back injuries in industry: a retrospective study II. Injuri factors. Spine 1986; 11:246.
- Bogduk N, Macintosh JE. The applied anatomy of the thoracolumbar fascia. Spine 1984; 9:164.
- Bogduk N, Twomey LT. The lumbar muscles an their fascia. In Clinical Anatomy of the Lumbar Spine. Melbourne: Churchill Limingston, 1991; 83.
- Borg G, Dahlström H. The reliability and validity of a physical work test. Acta Physiol Scand. 1962; 55:333-361.
- Cardinali P. Manual de neurofisiología. Madrid: Daniel De Diaz Santos , 1992.
- Carman DJ, Blanton PL. Electromyographic study of the anterolateral abdominal musculature utilizing indwelling electrodes. American Journal of Physical Medicine 1972; 51 (3):113-129.
- Clarys JP. A review of EMG in swimming, explanation of facts and/or feedback. In swimeng science IV (edited by A.P. Hollander, P.A. Huying and G. De Groot). Champaing, Ill.: Human Kinetics, 1985; 123-135
- Clarys JP, Cabri J. Electromyography and the study of sports movements: A review. Journal of Sports Sciences 1993; 11:379-448.
- Comité Internacional de Editores de Revistas Médicas. Requisitos de uniformidad para manuscritos presentados a revistas biomédicas. Med. Clin (Barc) 1991; 97:181-186.
- Cresswell AG, Grundstrom H, Thortensson A. Observations on intra-abdominal pressure and patterns of abdominal intra-muscular activity in man. Acta Physiol Scand. 1992; 144 (4):409-418.
- Cresswell AG. Responses of intra-abdominal pressure and abdominal muscle activity during dynamic trunk loading in man. Eur J Physiol 1993; 66(4):315-320.
- Cresswell AG, Thotensson A. Changes in intra-abdominal pressure, trunk muscle activation and force during isokinetic lifting and lowering. Eur J Appl Physiol 1994; 68:315-321.

- Davis PR. The use of intra-abdominal pressure in evaluating stresses on the lumbar spine. *Spine* 1981; 6:90-92.
- Davis PR. Variations of the intra-abdominal pressure during weight lifting in various postures. *J. Anat* 1956; 90: 601.
- Delitto RS, Rose SJ, Apts DW. Electromyographic analysis of two techniques for squat lifting. *Phys Ther* 1987; 67(9):1329-34.
- Denny-Brown. D. Interpretation of the electromyogram. *Archives of Neurology and Psychiatry*. 1949; 61:99-128.
- Dimaggio A, Mooney V. The McKenzie program: exercise effective against back pain. *The Journal of Musculoskeletal Medicine* 1987; 4,12:63-74.
- Duchenne GBA: *Physiology of movements* (Kaplan 1867) Lippincott Philadelphia, 1949.
- Eie. N, Wehn. P, Measurements of the intra-abdominal pressure in relation to weight bearing of the lumbosacral spine. *J Oslo City Hosp* 1962; 12:205-217.
- Ekholm J, Arborelius U. Activation of abdominal muscles during some physiotherapeutic exercises. *Scand J Rehab Med* 1979; 11:75-84.
- Fairbank JCT, O'Brien JP, Davis PR. Intraabdominal pressure raise during weight lifting. An objective measure of the low back pain. *Spine* 1980; 5:179.
- Farfan HF, Gracovetsky S. The abdominal mechanism. Presented at International Society for the Study of Lumbar Spine Meeting Paris. June 1981.
- Farfan HF. *Mechanical disorders of the low back* . Philadelphia: Lea & Febiger, 1973.
- Farfan HF. Muscular mechanism of the lumbar spine and the position of power and efficiency. *Orthop Clin North Am* 1975; 6:135-144.
- Faulkner RA, Sprigings EJ, McQuarrie A, Bell RD. A practical curl-up protocol for adults based on an analysis of two procedures. *Can J Sport Sci* 1989; 14:135-141.
- Faulkner RA, Stewart GW. Assessment of abdominal muscle strength in adults. *Achpper Jorunal* 1982; 48,6:26-27.
- Flint MM. An electromyographic comparison of the function of the iliacus and the rectus abdominis muscles. *Journal of the American Physical Therapy Association* 1965; 45:248-253.

- Flint MM, Gudgeon J. Electromyographic study of abdominal muscular activity during exercise. *Research Quarterly* 1965; 36,1:29-37.
- Floyd WF, Silver PHS. Electromyographic study of patterns of activity of the anterior abdominal wall muscles in man. *J Anat Lond* 1950; 84:132-145.
- Floyd WF, Silver PHS. The function of the erectores spinae muscles in certain movements and posture in man. *J Physiol Lond* 1955; 129:184-203.
- Girardin Y. EMG action potentials of rectus abdominis muscle during two types of abdominal exercises. *Biomechanics III Med Sport* 1973; 8:301-308.
- Godfrey K, Kindig L. Electromyographic study of duration of muscle activity in sit-up variations. *Arch Phys Med Rehabil* 1977; 58:132-135.
- Gordon CC, Chumlea WC, Roche AF. Stature, recumbent length and weight. Chapter 1. *Anthropometric standardization reference manual* Eds. Human kinetics books. Illinois: Lohman TC, Roche AF and Martorell R, 1988.
- Guerra J. Especificación y evaluación de prestaciones de un protocolo de sincronización multimedia adaptativo con control de flujo, basado en un tiempo global y técnicas de realimentación. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación 18 de Julio de 1997.
- Guerra J.C, Esteve M, Palau C, Monfort M, Sarti MA. Medical Multimedia Application for the Synchronization and Analysis of Electrical Muscular Activity, Images and Lumbar Mobility. Congreso Euromedia' 98. Leicester, United Kingdom, Enero 1998.
- Guilleard W, Brown JM. An electromyographic validation of an abdominal muscle test. *Arch Phys Med Rehabil.* 1994, 75:1002-1007
- Gracovetsky S, Farfan HF. A mathematical model of the lumbar spine using an optimized system to control muscles and ligaments. *Orthopedic Clinics of North America* 1977; 8:135-153.
- Gracovetsky S, Farfan HF, Helleur C. The abdominal mechanism. *Spine* 1985; 10:317-324.
- Grew N. Intraabdominal pressure response to loads applied to the torso in normal subjects. *Spine* 1980; 5:149-154.
- Grillner S, Nilsson J, Thortensson. Intra-abdominal pressure changes during natural movements in man. *Acta physiol. scand.* 1978; 103: 275-283.

- Guimaraes AC, Vaz. MA. The contribution of the rectus abdominis and rectus femoris in twelve selected abdominal exercises. *J Sports Med Phys Fitness* 1991; 31:222-30.
- Gutin B, Lipetz S. An electromyographic investigation of the rectus abdominis in exercises. *Research Quarterly American Association health Physical* 1971; 42:256-263.
- Guyton AC. *Tratado de fisiología médica*. 7ª Ed. Madrid: Interamericana McGraw-Hill. 1988.
- Halpern A, Bleck E. Sit-up exercises: an electromyographic study. *Clinical Orthopaedic* 1979; 172:172-178.
- Helewa A, Goldsmith Ch. An evaluation of four different measures of abdominal muscle strength: patient, order and instrument variation. *J. Rheumatol* 1990; 17:965-969.
- Hemborg B, Mortiz U. Intra-abdominal pressure and trunk muscle activity during lifting II: chronic low-back patients. *Scand J Rehabil Med* 1985; 17:5.
- Herbert A, De Vries H. Efficiency of electrical activity as a physiological measure of the functional state of muscle tissue. *American Journal of Physical Medicine* 1968; 47:10-22.
- Herbst M, Piontek P. Studies of the origin of resting tension of skeletal muscle. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 1974; 57:1293-1300.
- Hirsch C, Nachemson A. New observations on the mechanical behaviour of lumbar discs. *Acta Orthop Scand* , 1954;23:254-283.
- Hirsch C. Studies on the mechanism of low back pain. *Acta Orthop Scand* 1951; 20:261-274.
- Hodges P, Richardson C. Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the lower limb. *Physical Therapy* 1997; 77:132-144.
- Housh DJ, Housh TJ. Anthropometric estimation of thigh muscle cross-sectional area. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1995; 27 (5):784-791.
- Inman VT, Ralston HJ, Saunders JBCM, Feinstein B, Elwood WW. Relation of human electromyogram to muscular tension. *Electroencephalogr. Clin Neurophysiol* 1952; 4:178-194.
- Jackson CP, Brown MD. Analysis of current approaches and a practical guide to prescription of exercise. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 1983, 179:46-54.

- Janda. V, Schmid. HJA, Muscles as a pathogenic factor in back pain. Proceedings of the fourth Conference of the International Federation of Orthopaedic Manipulative Therapists. Christchurch. New Zealand, fer.1-23: 17-18, 1980.
- Kandel ER, Schwartz LH. Principles of neural science. 2ª Ed. Oxford: Elsevier, 1985; 444,496-499.
- Kapandji IA.: Cuadernos de Fisiología Articular. Tomo I. 1ª Ed Barcelona: Toray-Masson, 1981.
- Kelsey JL, Githens PB, White AA et al. An epidemiologic study of lifting and twisting on the job and risk for acute prolapsed lumbar intervertebral disc. J Orthop Res 1984; 2:61.
- Kelsey JL, Molumphy JL, Golden AL, Mundt DJ. Low back pain/prolapsed lumbar intervertebral disc. Rheum Dis Clin North Am 1990; 16:699.
- Kendall FP, McCreary EK. Musculos pruebas y funciones. Segunda edición . Barcelona: Jims, 1985.
- Kennedy B. Dynamic back care through body awareness. Sydney: Teknidata Services Pty Ltd, 1982.
- Kreighbaum E, Barthels KM. Biomechanics a qualitative approach for studying human moviments. 3ªEd Canada: MacMillan, 1990; 691.
- La Ban M, Raptou A. Electromyographic study of function of iliopsoas muscle. Arch Phys Med Rehabil 1965; 676-679.
- Laín Entralgo P. El cuerpo humano. Teoría actual. Madrid: Espasa Calpe SA. 1989.
- Le Veau B. Axes of joint rotation of the lumbar vertebrae during abdominal strengthening exercises.. International seminari on Biomechanics (4th, 1973 University Park). Baltimore: Richard C Nelson and Morehouse Eds, 1974; 361-364.
- Leskinen TPJ, Stalhammar HR, Kuorinka IAA, Troup JDG. Hip torque, lumbosacral compression, and intraabdominal pressure in lifting and lowering tasks. In Winter DA, Norman RW, Wells RP et al (eds): Biomechanics IX, International Series on Biomechanics, Human Kinetics, Champaign, IL, 1983; 55.
- Lipetz S, Gutin B. An electromyographic study of four abdominal exercises. Medicine and Science in Sports 1970; 2 (1): 35-38.
- Lison JF, Monfort M, Sarti A. Estudio de tres ejercicios para el fortalecimiento de la musculatura lumbar. Archivos de medicina del Deporte 1996; 56:427-432.

- Lockhart RD, Hamilton GG, Fyfe FW. Anatomy of the human body. London: Faber and Faber eds, 1959; 186.
- Lohman T, Roche A, Martorell R. Anthropometric standardization reference manual. Illinois: Human Kinetics, 1988.
- Macintosh J, Bogduk N, Gracovetsky S. The biomechanics of the thoracolumbar fascia. *Clinical Biomechanics* 1987; 2:78-83.
- Martin AD, Carter J, Hendy KC, Malina RM. Segment lengths. Chapter 2. Anthropometric standardization reference manual. Illinois: Lohman TC, Roche AF and Martorell R. Eds. Human kinetics books, 1988.
- McNeil T, Addison R, Anderson G et al. Trunk strength in an attempted flexion, extension and lateral bending in healthy subjects and patients with low back pain. *Spine* 1980; 5:529.
- Miller M, Medeiros J. Recruitment of internal oblique and transversus abdominis muscles during the eccentric phase of the curl-up exercise. *Physical Therapy* 1987; 67:1213-1217.
- Molumphy M, Unger B, Jensen GM, Lopopolo RB. Incidence of work-related low back pain in physical therapist. *Phys Ther* 1985; 65:482.
- Monfort M, Sarti MA. Aportaciones al conocimiento del patrón de actividad del músculo recto del abdomen durante el movimiento. Aplicaciones en la actividad física y salud. Actas del II Congreso Nacional de Educación Física de Facultades de Educación y XIII de Escuelas de Magisterio. 1995.
- Monfort M, Sarti MA, Lison JF. Análisis electromiográfico del Recto del Abdomen en dos métodos de trabajo de la fuerza. VI Congreso Galego de Educación Física y Deporte. Batiagueiro, Oleiros. 8 de Junio 1996.
- Monfort M, Sarti MA, Sanchis C. Actividad eléctrica del músculo recto mayor del abdomen en ejercicios abdominales. Estudio cualitativo. *Apunts de Medicina Deportiva* 1997; 32:279-289
- Moraes AC, Bankoff ADP, Pellegrinotti IL, Moreira ZW. Electromyography analysis of the rectus abdominis and external oblique muscles of children 8 to 10 years old. *Electromyogr. Clin. Neurophysiol* 1995; 35:425-430.
- Moritani T. Neuromuscular adaptations during the acquisition of muscle strength, power and motor tasks. *J Biomechanics* 1993, 6 (1):95-107.
- Morris JM, Lucas DB, Bressler MS. Role of the trunk in stability of the spine. *J Bone Joint Surg (Am)* 1961; 43A:327-351.

- Morton RF, Hebel JR. Bioestadística y epidemiología. México: Interamericana, 1985, 87.
- Nachemson A, Andersson GBJ, Schultz AB: Valsalva maneuver biomechanics. Effects on trunk load of elevated intraabdominal pressure. Spine 1986; 11: 476.
- Nachemson A. Electromyographic studies on the vertebral portion of the psoas muscle. Acta Orthop Scandinav 1966; 37:177-190.
- Nachemson A, Elfström G. Intravital dynamic pressure measurements in lumbar discs. Stockholm Sweden: Almquist & Wilsell AB. 1970.
- Nachemson A, Lindh M. Measurement of abdominal and back muscle strength with and without low back pain. Scand J Rehab Med 1969; 1:60-65.
- Neeves N, Barlow D. Torque work and power differences in bent-knee and straight-leg situps in women. Med and Science in Sports 1975; 7:77.
- O'Connell A, Gardner EB. Understanding the scientific bases of human movement. Baltimore: Williams & Wilkins 1972.
- Ono K. Electromyographic studies of the abdominal wall muscles in visceroptosis. The Tohoku J Exper Med 1958; 68(3-4): 347-354.
- Ortengren R, Andersson GBJ, Nachemson AL. Studies of relationships between lumbar disc pressure, myoelectric back muscle activity, and intra-abdominal pressure. Spine 1981; 6:98.
- Palastanga N, Field D, Soames R. Anatomy and Human Movement. London: Heinemann Medical Books, 1989; 354-356.
- Partridge MJ, Walters CE. Participation of the abdominal muscles in various movements of the trunk in man. An electromyographic study. The Physical Therapy Review 1959; 36 (12):791-800.
- Perey O. Fracture of the vertebral end plate in the lumbar spine. Acta Orthop Scand, suppl 1957; 25:1.
- Plagenhoef S, Evans F, Abdelnour T. Anatomical data for analyzing human motion. Research Quarterly for Exercise and Sport 1983; 54 (2):169-178.
- Qinney H, Smith D. A field test for the assessment of abdominal muscular endurance in professional ice hockey players. The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy 1984; 6:30-33.

- Ricci B, Marchetti M, Figura F. Biomechanics of sit-up exercises. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1981; 13 (1):54-59.
- Richardson C, Jull G, Toppemberg R, Comerford M. Techniques for active lumbar stabilisation for spinal protection: a pilot study. *Australian Physiotherapy* 1992; 38:105-112.
- Richardson C, Toppemberg R. An initial evaluation of eight abdominal exercises for their ability to provide stabilisation for the lumbar spine. *Australian Physiotherapy* 1990; 36:6-11.
- Rouviere H. Anatomía humana descriptiva y topográfica. 9ª ed. Barcelona: Toray Masson 1986
- Sahrmann SA. Muscle imbalances in the orthopedic neurological patient. 10th International Course of the World Confederation Physical Therapy. Sydney 1987; 836-841.
- Sarti, M.A, Monfort, M, Fuster MA, Villaplana LA. Muscle activity in upper and lower rectus abdominus during abdominal exercises. *Archives of physical medicine and rehabilitation* 1996; 77 (12), 1293-1297.
- Sarti MA, Monfort M, Fuster MA. Intensidad de la contracción del músculo recto mayor del abdomen. Estudio electromiográfico. *Archivos de Medicina del Deporte* 1996; 56:441-446.
- Sarti MA, Monfort M, Sanchis C, Aparicio L. Anatomía funcional del músculo rectus abdominis. Estudio electromiográfico. *Arch Esp Morfol.* 1996; 1:143-149.
- Schultz A, Haderspeck-Grib K, Sinkora G, Warwick D. Quantitative studies of the flexion-relaxation phenomenon in the back muscles. *J Orthop Research* 1985; 3:189-187.
- Schultz AB, Andersson GBT, Ortengren R, Hadespeck K, Nachemson A. Loads on the lumbar spine. *J Bone Joint Surg* 1982; 64A:713-720.
- Sheffield FJ. Electromyographic study of the abdominal muscles in Walking and other movements. *American Journal of Physical Medicine* 1962; 4 (14):192-197.
- Shirado O, Ito S. Electromyographic analysis of four techniques for isometric trunk muscle exercises. *Arch Phys Med Rehabil* 1995; 76:225-229.
- Smith V, Ferrés E, Montesinos M, Martínez Soriano F, Sánchez del Campo F. Anatomía del aparato locomotor. Gregori. Valencia 1981.
- Soderberg G, Cook T. Electromyography in biomechanics. *Physical Therapy* 1984; 64:1813-1820.
- Sousa O, Furlani J. Electromyographic study of the m. rectus abdominis. *Acta anat* 1974; 88:281-298.

- Stokes IAF, Moffroid M. EMG to torque relationship in rectus abdominis muscle. *Spine* 1989; 14,8:875-861.
- Sullivan PE, Markos PD, Minor MAD. *An integrated approach to therapeutic exercise*. Resto Publishing Co Reston, Virginia. 1982
- Suzuki N, Endo S. A quantitative study of trunk muscle strength and fatigability in the low back pain syndrome. *Spine* 1983; 8:69.
- Tesh K. The Abdominal muscles and vertebral stability. *Spine* 1987; 12:501-508.
- Testut L, Latarjet A. *Tratado de anatomía humana*. Barcelona: Salvat Editores 1979; I:921-923.
- Thomas TR, Ridder MB. Resistance exercise program effects on abdominal function and physique. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 1989; 29:45-48.
- Thorstensson A, Nilsson J. Trunk muscle strength during constant velocity movements. *Scand J Rehab Med* 1982; 14:61-68.
- Thorstensson A, Oddsson L, Andersson E. Balance in muscle strength between agonist and antagonist muscles of the trunk. 1985; 15-20.
- Tortora GJ, Anagnostako NP. *Principles of anatomy and physiology*. New York.:Harper Collins 1990; 241.
- Troup JDG, Leskinen TPJ, Stalhammar HR, Kuorinka IAA. Comparison of intra-abdominal pressure increases, hip torque and lumbar vertebral compression in different lifting techniques. *Hum Factors* 1983; 25:517-525.
- Troyer A, Estenne N. Transversus abdominis muscle function in humans. *J. Appl. Physiol* 68 1990; 3:1010-1016.
- Van Ruijven L, Weijs W. A new model for calculating muscle forces from electromyograms. *Eur J Appl Physiol* 1990; 61:479-485.
- Vincent W, Britten S. Evaluation of the curl up- a substitute for the bent knee sit up. *JOPERD* 1980; 51:74-75.
- Virgin WJ. Experimental investigations into physical properties of intervertebral disc *Bon Jt Surg*. 1951; 33B:607.

- Voss DE, Ionta KM, Myers J. Facilitación Neuromuscular Propioceptiva. Buenos Aires:Panamericana 1987.
- Walters CE, Patridge MJ. Electromyographic study of the differential action of the abdominal muscles during exercise. *Am. J Phys. Med.* 1957; 36:259-268.
- White A, Panjabi M. *Clinical biomechanics of the spine*. Second edition Philadelphia: J.B. Lippincott Company, 1990.
- Williams PL, Warwick R. *Gray Anatomia*. Barcelona:Salvat Editores, SA Tomo I 1985 614-616.
- Wohlfahrt D, Jull G, Richardson C, The relationship between the dynamic and static function of abdominal muscles. *Australian Physiotherapy* 1993; 39 (1):9-13.
- Yang JF, Winter DA. Electromyography reliability in maximal and submaximal isometric contractions. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 1983; 64:417-420.
- Yang J, Winter D. Electromyographic amplitude normalization methods: improving their sensitivity as diagnostic tools in gait analysis. *Arch Phys Med Rehabil* 1984; 65:517-521.
- Zetterberg C. The activity of individual trunk muscles during heavy physical loading. *Spine* 1987; 12:1035-1040.

Anexos

ANEXO I

Denominación y descripción de los ejercicios utilizados en los diferentes estudios.

Incorporación de tronco convencional con rodillas extendidas. “*Conventional long lying sit-up*” (CLSU). Desde la posición de tumbado en decúbito supino con rodillas extendidas y sujetas, el sujeto flexiona tronco y cadera hasta que toca con los codos las rodillas. Las manos se colocan sobre la nuca o tocando la cabeza y los codos se mantienen abiertos.

Incorporación de tronco convencional con rodillas flexionadas. “*Conventional hook lying sit-up*”, (CHSU): Desde la posición de tumbado en decúbito supino con rodillas flexionadas 65° (pies sujetos o no sujetos), el sujeto flexiona tronco y cadera hasta que toca con la cabeza los muslos. Las manos se colocan al lado de la nuca y los codos se mantienen abiertos durante todo el recorrido para prevenir la ayuda con los brazos. Variante: con los codos por delante hasta que tocamos las rodillas.

Incorporación de tronco con rodillas flexionadas. “*Hook lying sit-up*”, (HSU): Desde la posición de tumbado en decúbito supino con rodillas y caderas flexionadas, el sujeto realiza una flexión máxima de tronco y cadera hasta que toca con su pecho en las rodillas.

Incorporación de tronco con rodillas extendidas. “*Long lying sit-up*” (LSU): Desde la posición de tumbado en decúbito supino con rodillas y caderas extendidas, el sujeto realiza una flexión máxima de tronco y cadera hasta que toca con sus manos los tobillos.

Incorporación de tronco con giro y rodillas extendidas. “*Crossed long lying sit-up*”, (CsSU): Desde la posición de tumbado en decúbito supino, con rodillas y caderas extendidas, el sujeto realiza una flexión máxima de tronco y cadera hasta que toca con su mano derecha su pie izquierdo y viceversa.

Incorporación de tronco con rodillas flexionadas y brazos sobre el pecho. “*Hook sit-up arms across chest*”, (HSUACH): Desde la posición de tumbado en decúbito supino con rodillas flexionadas 65° y brazos flexionados sobre el pecho, el sujeto flexiona tronco y cadera hasta que toca con la cabeza los muslos.

Incorporación de tronco con espalda arqueada. “*Arched back sit-up*”, (ArBSU): Desde la posición de rodillas extendidas y pies sujetos por los tobillos y raquis arqueado, el sujeto baja hasta que la parte posterior de su cabeza toca el suelo. La curvatura del raquis es mantenida durante todo el movimiento.

Incorporación modificada de tronco con rodillas flexionadas. “*Modified hook sit-up*”, (MHSU). Con los miembros inferiores sobre una banqueta de 28 cm de alto y la parte posterior de las rodillas tocando el borde de esta, el sujeto flexiona tronco y cadera hasta que toca con la cabeza los muslos. Las manos al lado de la nuca y los codos se mantienen abiertos.

Incorporación de tronco desde tumbado lateralmente. “*Side lying sit-up*”, (SLSU) Desde la posición de tumbado lateralmente elevamos cabeza y tronco hasta la vertical hacia el lado contrario al que se está tumbado.

Incorporación sobre plano inclinado. “*Inclined Sit-up*”, (ISU): El sujeto ejecuta una incorporación de tronco convencional sobre una tabla inclinada 36 cm del suelo, con los miembros inferiores en alto y la cabeza baja.

Incorporación con tronco extendido. “*Sit-up with trunk under horizontal plane*”, (SUHP): Tendido supino con rodillas flexionadas, se fija la pelvis a un plinto con unas cintas, el tronco se extiende 30° bajo el plano horizontal. El sujeto se eleva hasta arriba encorvando el tronco con brazos extendidos delante.

Incorporación en V. “*V sit*”, (VS): Desde la posición sentada con rodillas flexionadas, el sujeto extiende el tronco y los miembros inferiores llevando las manos a tocar con los pies.

Encorvamiento de tronco con rodillas flexionadas. “*Hook lying curl-up*”, (HCU). Desde la posición de tumbado en decúbito supino, rodillas flexionadas y manos al lado de la cabeza, brazos en línea con la cabeza evitando que se adelanten durante el movimiento. Se flexiona la cabeza y el raquis dorsal hasta que el sujeto siente que el vértice inferior de la escápula se despegas del suelo. Variantes: Contra una resistencia sin movimiento “*Isometric trunk curl-up*” (IsCU), sobre un plano inclinado, “*Inclined curl-up*” (ICU), con giro. “*Crossed trunk curl-up*”, (CsCU).

Encorvamiento de tronco con rodillas extendidas. “*Long Lying trunk curl-up*”, (LCU): Desde la posición de tumbado en decúbito supino, miembros inferiores y brazos extendidos a lo largo del cuerpo, el sujeto encorva el tronco flexionando cabeza y raquis dorsal hasta que toca con sus dedos las rodillas. Variante: con las manos al lado de la nuca.

Encorvamiento con tronco extendido. “*Curl-up with trunk under horizontal plane*” (CUHP): Tumbado en decúbito supino con rodillas flexionadas, se fija la pelvis a un plinto con unas cintas, el tronco se extiende 30° bajo el plano horizontal. El sujeto flexiona cabeza y tronco sin despegar la zona lumbar y con brazos extendidos delante.

Elevación de los miembros inferiores. “*Double leg raising*”, (DLR): Desde tumbado en decúbito supino el sujeto elevó simultáneamente los miembros inferiores hasta 90° de flexión de cadera. Variante: elevando sólo un miembro inferior “*Leg raising*”, (LR).

Retroversión de pelvis rodillas y caderas flexionadas. “*Posterior pelvic tilt crook lying position*”, (PPTC): Desde tumbado en decúbito supino con rodillas y caderas flexionadas 90°, el sujeto realiza una retroversión de pelvis hasta que la cresta ilíaca posterior se despega del suelo. Las manos sobre la cabeza y ésta no se despega del suelo.

Retroversión de pelvis. “*Posterior pelvic tilt*”, (PPT): Desde tumbado en decúbito supino con rodillas flexionadas 45° o extendidas, el sujeto realiza una retroversión de pelvis hasta que la zona lumbar toca el suelo.

Encorvamiento de pelvis. “*Reverse curl-up*”, (RCU): Desde tumbado en decúbito supino con rodillas flexionadas 45° o extendidas, el sujeto lleva las rodillas hacia el pecho despegando gluteos del suelo. Las manos sobre el suelo a los lados del cuerpo. Variante: llevando rodillas a un lado y al otro.

Encorvamiento de pelvis con giro. “*Hip roll*”, (HR): Desde tumbado en decúbito en decúbito supino con rodillas flexionadas 45° o extendidas, el sujeto lleva las rodillas hacia el pecho a un lado bajamos y al otro despegando gluteos del suelo. Las manos sobre el suelo a los lados del cuerpo.

Retroversión de pelvis con giro. “*Crook lying pelvic rotation*”, (CPR): Desde tumbado en decúbito supino con rodillas flexionadas 45° o extendidas, el sujeto realiza una retroversión de pelvis hasta que la zona lumbar toca el suelo a la vez que gira contra una resistencia intentando llevar los miembros inferiores a un lado y a otro. No se permite realizar ningún movimiento.

Encorvamiento de pelvis desde colgado. “*Basquet Hang*”, (BH): Desde suspendido de una barra y rodillas extendidas, el sujeto lleva las rodillas hacia el pecho y vuelve a la posición inicial.

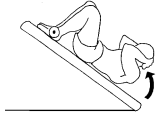
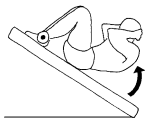
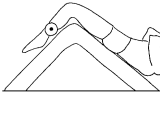
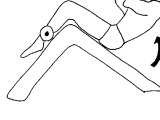


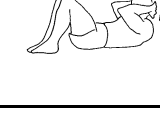

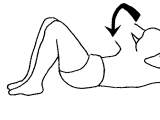

Puente con rotación de pelvis. “*Bridging with pelvic rotation*”, (BPR): El sujeto realiza el puente e intenta rotar la pelvis mientras el experimentador resiste el movimiento sujetando de la pelvis sin permitir movimiento.

Fondos de brazo. “*Push up*”, (PU). Desde tumbado en decúbito prono con el tronco extendido y el peso del cuerpo en dedos de los pies y manos, el sujeto baja el cuerpo, lo mantiene sin tocar el suelo y lo eleva.


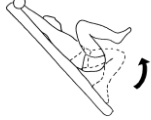

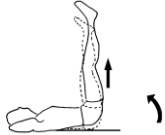







Denominación Española	Denominación Inglesa	Siglas
*Incorporación de tronco convencional rodillas extendidas (ext.)	<i>Conventional long lying sit-up</i>	<i>CLSU</i>
*Incorporación de tronco convencional rodillas flexionadas (flex.)	<i>Conventional hook lying sit-up</i>	<i>CHSU</i>
*Incorporación de tronco rodillas flex.	<i>Hook lying sit-up</i>	<i>HSU</i>
*Incorporación de tronco rodillas ext.	<i>Long lying sit-up</i>	<i>LSU</i>
*Incorporación de tronco con giro y rodillas ext.	<i>Crossed long lying sit-up</i>	<i>CsSU</i>
*Incorporación tronco rod. flex. y br. sobre el pecho	<i>Hook sit-up arms across chest</i>	<i>HSUACH</i>
*Incorporación de tronco con raquis arqueada	<i>Arched back sit-up</i>	<i>ArBSU</i>
*Incorporación modificada de tronco rodillas flex.	<i>Modified hook sit-up</i>	<i>MHSU</i>
*Incorporación de tronco desde tumbado lateralmente	<i>Side lying sit-up</i>	<i>SLSU</i>
*Incorporación sobre plano inclinado	<i>Inclined Sit-up</i>	<i>ISU</i>
*Incorporación con tronco extendido	<i>Sit-up with trunk under horizontal plane</i>	<i>SUHP</i>
*Incorporación en V	<i>V sit</i>	<i>VS</i>
*Encorvamiento de tronco m.inf. flex.	<i>Hook lying trunk curl-up</i>	<i>HCU</i>
*Encorvamiento de tronco con giro	<i>Crossed trunk curl-up</i>	<i>CsCU</i>
*Encorvamiento de tronco m. inf. ext.	<i>Long lying trunk curl-up</i>	<i>LCU</i>
*Encorvamiento de tronco isom.	<i>Isometric trunk curl-up</i>	<i>IsCU</i>
*Encorvamiento de tronco sobre plano inclinado	<i>Inclined curl-up</i>	<i>ICU</i>
*Encorvamiento con tronco erextendido	<i>Cur-up with trunk under horizontal plane</i>	<i>CUHP</i>
*Elevación de dos m. inf.	<i>Double leg raising</i>	<i>DLR</i>
*Elevación de una m. inf.	<i>Leg raising</i>	<i>LR</i>
*Retroversión de pelvis rodillas y caderas flex. 90°	<i>Posterior pelvic tilt crook lying position</i>	<i>PPTC</i>
*Retroversión de pelvis	<i>Posterior pelvic tilt</i>	<i>PPT</i>
*Encorvamiento de pelvis	<i>Reverse curl-up</i>	<i>RCU</i>
*Encorvamiento de pelvis con giro	<i>Hip roll</i>	<i>HR</i>
*Retroversión de pelvis con giro	<i>Crook lying pelvic rotation</i>	<i>CPR</i>
*Encorvamiento de pelvis desde colgado	<i>Basquet Hang</i>	<i>BH</i>
*Puente con rotación de pelvis	<i>Bridging pelvic rotation</i>	<i>BPR</i>
*Fondos de brazo	<i>Push up</i>	<i>PU</i>

Denominación de los ejercicios y su abreviatura. (ext.) extendido, (flex) flexionado. (m.inf.) miembros inferiores.



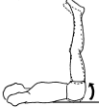
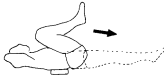
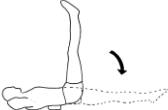
Anexo II

Encorvamientos Superiores (GRUPO I)	Ejercicios		Incorporaciones Superiores (GRUPO III)
	⇐ C1	S1 ⇒	
	⇐ C2	S2 ⇒	
	⇐ C3	S3 ⇒	
	⇐ C4	S4 ⇒	
	⇐ C5d-i	S5d-i	

Anexo II

Encorvamientos Inferiores (GRUPO II)	Ejercicios		Incorporaciones Inferiores (GRUPO IV)
	⇐ C6	S6 ⇨	
	⇐ C7	S7 ⇨	
	⇐ C8	S8 ⇨	
	⇐ C9	S9 ⇨	
---	---	S10 ⇨	
---	---	S 11d-i ⇨	
---	---	S12d-i ⇨	

ANEXO II

Ejercicios	Isométricos (GRUPO V)
I1d-i	
I2d-i	
I3	
I4	
I5	
I6	