

Revision of Literature

Biomecánica de los Músculos Abdominales y Flexores de Cadera. Revisión y Aportes para la Interpretación de Ejercicios Específicos

P. P Giorno¹ y Leandro G Martínez¹

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es analizar, desde el punto de vista biomecánico, con el apoyo de estudios electromiográficos, la acción de los músculos de la pared abdominal y los flexores de cadera, para interpretar dicha acción en diferentes ejercicios. Se ha realizado una profunda revisión bibliográfica, en especial de trabajos con aportes de electromiografías de superficie e intramusculares. En los ejercicios estudiados de levantamiento del tronco hasta los 30° y flexión inversa del tronco se ha demostrado que el grado de participación del músculo recto mayor del abdomen es mayor con respecto a los demás músculos de la pared abdominal en ambos movimientos. En la flexión inversa del tronco puede afirmarse que la participación de la porción superior del recto mayor del abdomen es mayor con respecto a la inferior, mientras que la acción de los flexores de cadera es prácticamente nula con el mantenimiento del aplanamiento de la columna lumbar en la realización del levantamiento del tronco a 30°.

Palabras Clave: electromiografía, músculos abdominales, músculos flexores de cadera, levantamiento, flexión inversa

INTRODUCCIÓN

Los músculos abdominales y los flexores de cadera se encuentran comprometidos en una diversa variedad de ejercicios, los cuales son puestos en práctica generalmente con una vaga o errónea interpretación sobre la acción biomecánica de aquellos. Debido a esto es conveniente analizar, basándose en variados estudios electromiográficos, la participación de dichos músculos en diferentes acciones, con el objetivo de establecer parámetros claros y sustentables de la actividad de los mismos.

DESARROLLO

Movimientos de Columna y Caderas durante la Elevación del Tronco

Con las rodillas flexionadas, la articulación de la cadera puede flexionarse aproximadamente 125°, desde la posición de extensión cero hasta un ángulo agudo de 55° aproximadamente entre el fémur y la pelvis. Con las rodillas extendidas, la articulación de la cadera puede flexionarse aproximadamente 80°, hasta un ángulo obtuso de aproximadamente 100° entre la pelvis y el fémur.

El equivalente de este movimiento representa el movimiento de elevación del tronco con las rodillas extendidas, en el cual la pelvis está flexionada hacia los muslos en una amplitud aproximada de 80° a partir del piso, hasta 100° desde flexión de la articulación de la cadera y rodillas también flexionadas.

Se considera que la flexión normal de la columna cervical y lumbar elimina las convexidades anteriores (aplanamiento y/o inversión de las lordosis). Una inclinación pelviana posterior (retroversión) y la flexión de la columna lumbar, son compatibles con una extensión (hiperextensión) de 10° de la articulación de la cadera.

La Posición Neutra: Es la posición supina, la columna vertebral y la pelvis apoyadas en el piso, no hay actividad muscular, las caderas y las rodillas pueden estar extendidas (no hay actividad muscular), o flexionadas, en este caso se requiere de cierto grado de contracción para mantener la posición. Si las caderas están flexionadas (aproximadamente 60°) se produce cierta retroversión de la pelvis lo que es lo mismo que decir que se produce una leve flexión de la columna lumbar.

La Posición Inicial: Se alcanza a partir de la posición neutra. La pelvis se inclina hacia atrás (retroversión), la columna lumbar está flexionada levemente por la contracción de los músculos abdominales (contracción dinámica concéntrica); si las caderas estaban extendidas en este momento se hiperextienden (10°) elongándose los músculos flexores de cadera, y si se parte de la posición de caderas flexionadas se reduce un poco la misma.

El Levantamiento del Tronco (incorporación)

1º- El pasaje de la Posición Inicial a la Posición Sedente hasta los 30º

Se considera que el tronco alcanza los 30° de flexión cuando las escápulas se desprenden del piso, se flexiona la columna cervical, la contracción de los músculos de la región anterior del cuello permiten fijar el tórax; con punto fijo en la pelvis los músculos abdominales producen el levantamiento del tronco, con una contracción dinámica concéntrica, a la vez que los músculos flexores de las caderas fijan la pelvis (contracción isométrica) evitando que la misma bascule hacia la retroversión; en el movimiento de vuelta a la posición inicial, los músculos abdominales harán una contracción dinámica excéntrica mientras que los flexores de las caderas continuarán en contracción isométrica en su papel de fijar la pelvis.

El orden de participación de los músculos: A medida que se inicia lentamente la flexión del tronco por elevación de la cabeza y de los hombros a partir de la posición supina, podemos observar en un individuo con músculos abdominales normales, que la caja torácica se hunde por delante, las costillas se separan hacia fuera y aumenta el ángulo infraesternal. Los rectos abdominales actúan para conseguir el hundimiento anterior de las costillas y la inclinación posterior de la pelvis. La separación hacia fuera de la caja torácica y el aumento acompañante del ángulo infraesternal es compatible con la acción del músculo Oblicuo menor o interno (OMe).

A medida que el tronco se eleva en flexión, sobre los muslos, las costillas tienden a aproximarse lentamente y disminuye el ángulo infraesternal, en este momento el músculo Oblicuo Mayor o externo (OMa) se contrae.

Crowe y colaboradores, en un estudio electromiográfico del levantamiento de la posición sedente, señalan que la actividad aparece, en primer lugar en la porción superior del Recto Mayor del Abdomen (RMA), seguido aproximadamente, 0,2 o 0,3 segundos más tarde, por la porción inferior de dicho músculo y del OMe, y al finalizar el levantamiento participa el Oblicuo Mayor o Externo (OMa). También los individuos sometidos a la prueba fueron invitados a arquear el tórax hasta que las escápulas estuvieran separadas del suelo, procurando mantener esa posición durante dos o tres segundos; los electromiogramas demostraron una actividad intensa de todo el grupo abdominal. Sarti, a través de un estudio electromiográfico (Sarti M. y col., 1996), obtuvo resultados similares en referencia al músculo RMA, que apoya la fundamentación de cómo se desencadena la acción mecánica de éste músculo y de cómo es el perfil de la curva obtenida. Como se observa en la figura 1, durante la realización del levantamiento del tronco hasta los 30° de flexión (incorporación) la porción superior del RMA actúa en mayor grado en la acción de la incorporación, mientras que la porción inferior de dicho músculo actúa en menor proporción.

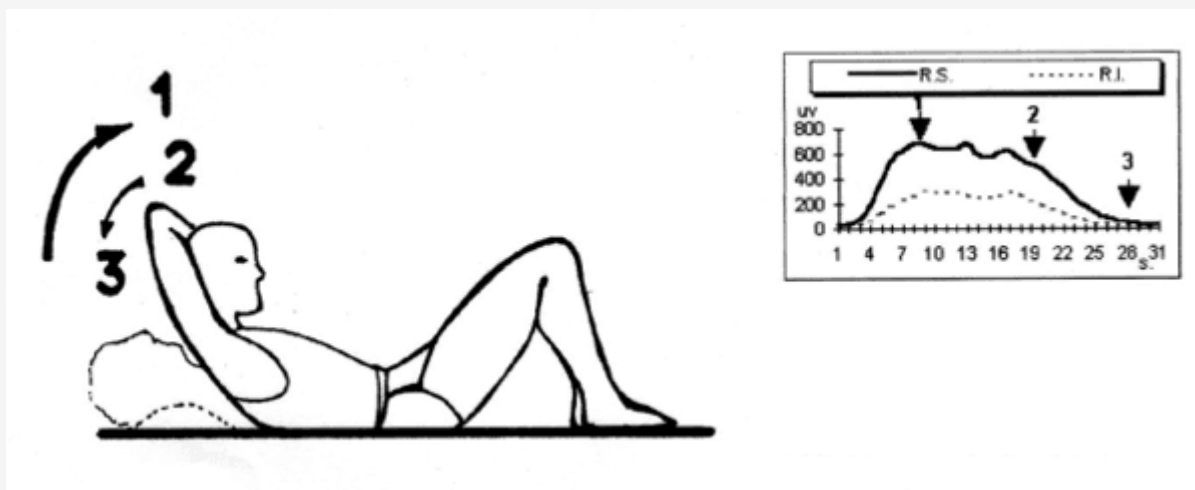


Figura 1. Encorvamiento de Tronco. (modificado de Sarti y col. 1996). Fases del movimiento: (1) escapular, (2) mantenimiento y (3) retorno. El recuadro representa la iEMG de las porciones superior e inferior (RS, RI) del Recto Mayor del Abdomen durante el movimiento.

Walters y Patridge demostraron la existencia de una mayor actividad en las porciones superiores del Recto abdominal cuando no se vence otra resistencia que la del peso corporal, pero la actividad es igual en las porciones superior e inferior cuando se carga en los hombros un peso adicional de 4,5 kilogramos.

López Calbet F. Y C., destacan el hecho de la obtención de *valores más elevados en la zona superior abdominal por norma*. Incluso en los ejercicios supuestamente dirigidos a la zona abdominal inferior (flexión inversa del tronco), los valores de la zona abdominal superior son mayores. La zona abdominal inferior logra mejores resultados con ejercicios en los que la pelvis permanece fija (flexión del tronco) que con los ejercicios en que el tronco permanece fijo (flexión inversa), pero siempre los valores son menores para los abdominales inferiores .

2º- El Levantamiento a Más de 30º

A partir de los 30º la columna lumbar ya no flexiona más y los músculos abdominales se han acortado totalmente. Por lo tanto el levantamiento se hace con la contracción dinámica concéntrica de los músculos flexores de las caderas que levantan el tronco traccionando desde la columna lumbar (Psoas Iliaco; PI), y desde la pelvis (el resto de los flexores). Al bascular la pelvis se produce la flexión de las caderas permitiendo el levantamiento total. Durante todo este movimiento los músculos abdominales se mantuvieron en contracción isométrica fijando a la columna lumbar en flexión. En el descenso hasta los 30º los músculos abdominales mantienen la misma función y tipo de contracción y los flexores de las caderas harán una contracción dinámica excéntrica.

La Acción de los Flexores de las Caderas durante la Elevación del Tronco: En el momento de la iniciación de la incurvación del tronco para alcanzar la posición sedente, con las caderas extendidas y sin sujeción de los pies, los flexores de las caderas se mueven en la dirección del alargamiento pasivo a medida que la pelvis se inclina hacia atrás (retroversión); los estudios por electromiografías de La Ban y colaboradores y de Crowe y colaboradores lo confirman; éstos últimos afirman que los flexores de las caderas comienzan a actuar cuando las escápulas están separadas del suelo.

Con las caderas y rodillas flexionadas existe una contracción activa de los músculos que mantienen a estas articulaciones en esa posición, independientemente de la sujeción de los pies. Los flexores de las caderas se hallan en estado de contracción activa a partir del momento en que se adopta la posición de flexión, esta conclusión es confirmada por los estudios electromiográficos de los autores arriba citados.

Los flexores de las caderas inician el levantamiento del tronco desde la posición inicial hacia la posición sedente, en el caso de grave debilidad de los abdominales, provocando el arqueamiento (hiperlordosis) de la columna, bien con las caderas flexionadas o extendidas; en oposición a los abdominales que provocan la incurvación del tronco, (flexión de la columna lumbar).

Aflojamiento de los Flexores de las Caderas

Existe un concepto ampliamente aceptado de que la flexión de las caderas y rodillas durante la elevación del tronco afloja a

los flexores de las caderas y reduce su efectividad. Se interpreta que esta posición elimina la acción de los flexores de las caderas o que estos están fuera de acción o menos tensos. Evidentemente esta interpretación es errónea debido a que: 1º- ambos grupos musculares son sinérgicos, es decir cuando un grupo actúa como protagonista el otro lo hace como fijador y viceversa, y 2º- Si se elimina la acción de los flexores de las caderas no sería posible pasar a la posición sedente. Sin embargo Juker, D., et. al.; en un estudio electromiográfico conjunto realizado por la Universidad McGill y la Universidad de Waterloo, ambas de Canadá, junto con la Universidad de Bern, de Suiza, encontraron que la acción del músculo Psoas (principal flexor de la cadera) en el ejercicio de la figura, es poco significativa con respecto a los músculos de la pared abdominal. Esto puede apreciarse en la figura 2.

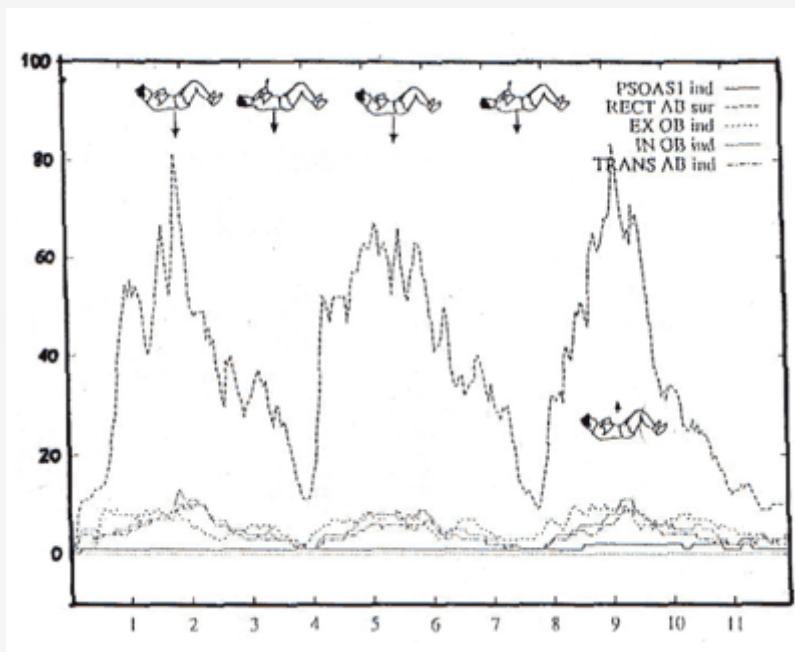


Figura 2

Con respecto al significado: hacer menos tensos cuando se halla en posición de acortamiento requiere un análisis e interpretación:

Surgen tres cuestiones:

- ¿Cuál de los flexores de las caderas está totalmente acortado durante la flexión de las caderas y rodillas para el levantamiento?.
- ¿Puede ponerse en acortamiento un músculo biarticular?.
- ¿Cuál es la relación entre la fuerza y la longitud de un músculo?.

En esta posición el músculo Psoas Iliaco (PI) se acorta a causa de que es fundamentalmente un músculo uniarticular, lo mismo ocurre con los aductores; El Sartorio (flexor de la cadera y de la rodilla) biarticular se acorta en ambos extremos; El Tensor de la Fascia Lata (TFL) y el Recto anterior del cuádriceps (RAC) no se acortan apreciablemente debido que son extensores de la rodilla.

La Fuerza de un músculo está en relación con su Longitud: los músculos y sus tejidos conectivos (aponeurosis, tendones) tienen la propiedad de la elasticidad. Cuando se estiran, esta elasticidad da como resultado energía acumulada (energía elástica). Durante la actividad muscular posterior, esta energía acumulada se libera, aumentando la intensidad de la fuerza. En el cuerpo intacto, la longitud muscular está restringida por la disposición anatómica y la unión de los músculos a los huesos. Cuando está unido al esqueleto, un músculo con la longitud correspondiente al estado de reposo está normalmente bajo una ligera tensión, ya que se halla moderadamente elongado. Si un músculo fuera liberado de sus uniones, adoptaría una longitud relajada, un tanto más corta.

Las mediciones indican que puede generarse fuerza máxima en un músculo cuando éste es elongado primero hasta una longitud aproximadamente un 20% superior a la de reposo. Cuando el músculo está elongado hasta esta longitud, la

combinación de energía acumulada y la fuerza de acción muscular se optimizan, resultando una mayor producción de fuerza máxima. Aumentar o reducir la longitud muscular más allá del 20% reduce el desarrollo de la fuerza. Por ejemplo si el músculo está elongado hasta dos veces su longitud de reposo, la fuerza que produce será casi igual a cero.

Pero hay que considerar otro factor. La fuerza creada por la fibra muscular durante la acción muscular depende del número de puentes cruzados en contacto con los filamentos de actina en cualquier momento dado. Cuantos más están en contacto al mismo tiempo, más fuerte será la acción muscular.

Y otro factor para tener en cuenta es el ángulo de la articulación y la determinación del brazo de momento para la fuerza, cuando éste es perpendicular a la línea de tracción se dan las condiciones biomecánicas para lograr la fuerza óptima. Pero no siempre las condiciones mecánicas conciden con las fisiológicas.

La acción del músculo PI es eliminada por la flexión completa de las articulaciones de las caderas. Por el contrario, debe ser considerado como provisto de una fuerza potente, independientemente del grado de flexión de la cadera. Crowe y col. dicen: "nuestros electromiogramas muestran un aumento acentuado de la actividad del PI cuando se realiza el levantamiento a la posición sedente con el máximo grado de flexión de las caderas, este estudio confirma que cuanto más acortado está el músculo desarrolla menor tensión y requiere mayor cantidad de unidades motoras para vencer una misma resistencia (carga submáxima)."

Un estudio realizado por O`Connell y Gardner confirman la experiencia de Crowe y col. y agregan que: "en el momento de la flexión máxima, cuando la actividad del PI es mayor, este es el período de menor actividad de los flexores auxiliares. Esto está en oposición con la suposición de que colocando las caderas en flexión se afloja el PI y se produce una transmisión de la actividad contráctil desde él a los músculos auxiliares".

Se acepta que la elevación del tronco a partir de la posición de caderas flexionadas es de realización más difícil que a partir de la posición caderas extendidas, ya que en esta última los flexores de caderas están en ventaja debido a que se hallan levemente estirados. Por lo tanto los flexores de cadera podrán fortalecerse más con la posición caderas flexionadas; situación irónica, cuando el propósito expresado, por quienes preconizan la posición de flexión de caderas es el de minimizar o eliminar a los flexores de caderas.

Cuando los músculos flexores de caderas están retraídos, existen indicaciones para el uso temporal de la posición con flexión de caderas. En la posición supina con las caderas extendidas, los flexores de caderas retraídos, mantienen la columna lumbar en hiperextensión y la pelvis en anteversión. Con el objeto de iniciar, en forma pasiva o activa, una retroversión de la pelvis, es necesario liberar la acción de tracción de los flexores de caderas acortados gracias a la flexión pasiva de las caderas y de las rodillas, colocando almohadones por debajo de las rodillas, se elimina así la necesidad de que actúen los flexores de las caderas para mantener la posición de flexión de dicha articulación. Las rodillas y las caderas requieren ser flexionadas solamente en el grado necesario para liberar la acción de tracción de los flexores de caderas sobre la pelvis. A partir de esta posición pueden realizarse los ejercicios: la inclinación posterior de la pelvis (retroversión), y la elevación de la cabeza y del tronco por el arqueamiento del tronco; al mismo tiempo y gracias al adecuado ejercicio abdominal, se elongarán los flexores de las caderas, y se deberán indicar además ejercicios específicos para la elongación de estos músculos; por lo que en un momento dado el individuo será capaz de realizar la retroversión pélvica con las caderas extendidas.

Acción de los Abdominales durante la Elevación y Descenso de las Piernas

Desde un punto de vista mecánico, la pelvis puede ser inclinada hacia atrás por medio de una tracción hacia abajo sobre el isquión, una tracción hacia arriba sobre el pubis y una tracción oblicua desde la cresta ilíaca anterior hacia la caja torácica posterior. El músculo o las fibras musculares situadas en estas líneas de tracción son: los extensores de las caderas, el recto abdominal y las fibras laterales del oblicuo mayor. Estos músculos actúan para inclinar la pelvis hacia atrás (retroversión) tanto si el individuo está en posición de bipedestación erecta o en decúbito supino.

Durante la elevación de ambas piernas, a partir de la posición decúbito supino, los extensores de las caderas cesan en su ayuda activa a la inclinación de la pelvis hacia atrás y el recto abdominal y el oblicuo externo asumen los papeles principales si se realiza un esfuerzo para flexionar la columna lumbar y para mantener la porción inferior de la espalda aplanada sobre el suelo mientras permanece extendida la columna dorsal.

Los músculos abdominales se alargan a medida que la espalda comienza a arquearse si la potencia no es suficiente para mantener la pelvis en inclinación posterior.

En la iniciación de la elevación doble de las piernas, o en el descenso, la observación del tórax mostrará la tendencia de las costillas a ejercer tracción hacia dentro, disminuyendo así el ángulo infraesternal. Este movimiento es compatible con la línea de tracción y acción del OMa.

La Flexión Inversa del Tronco (flexión de la pelvis sobre el tronco)

Se parte de la posición inicial: decúbito supino, con las caderas y rodillas en máxima flexión y la pelvis en retroversión; en esta posición los músculos abdominales fijan la pelvis y los flexores de las caderas están en máxima flexión.

El ejercicio consiste en la flexión de la pelvis sobre el tronco, (elevación de la pelvis, llevando las rodillas hacia el tórax).

Para López Calvet F. Y C., en este ejercicio la actividad es mayor en la porción superior de los rectos mayores; contradiciendo así la creencia generalizada de que es un ejercicio para abdominales inferiores. La figura 3, correspondiente a un estudio electromiográfico realizado por Sarti (Sarti M.A. y col., 1996) demuestra dicha teoría.

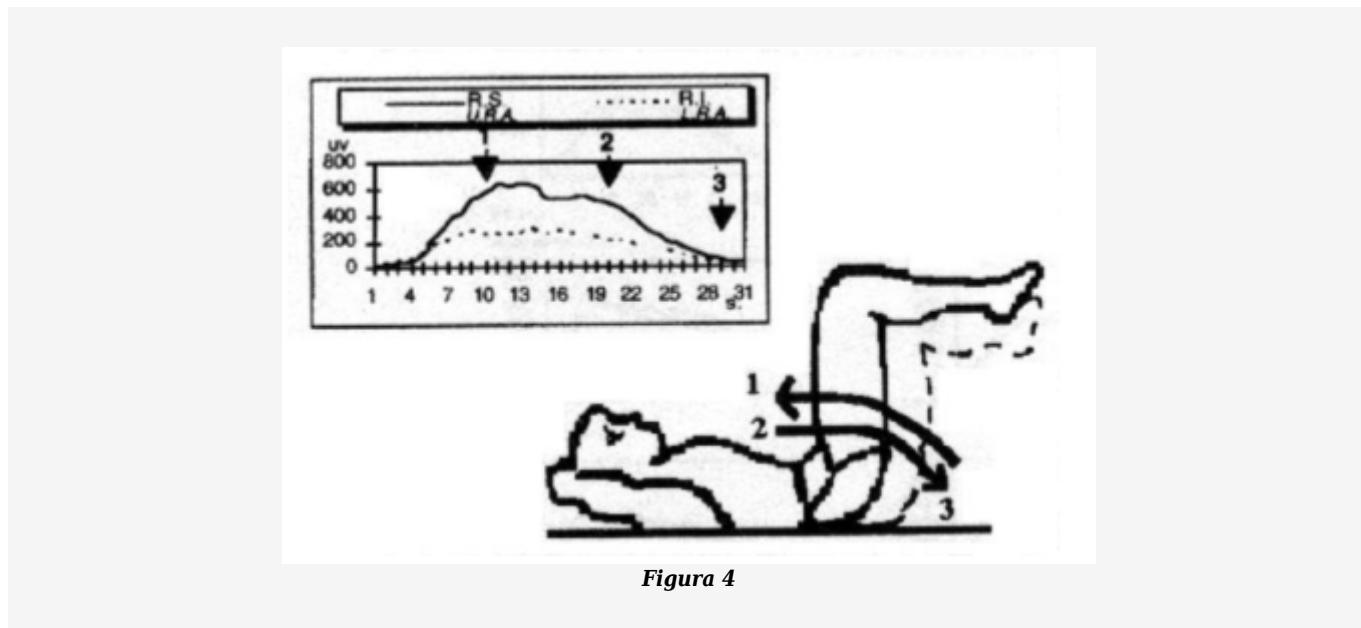


Figura 4

Efectos de la Sujeción de los Pies durante la Elevación del Tronco

Debido a la distribución del peso corporal, muchos individuos son incapaces de sentarse a partir de la posición supina con el tronco en extensión, excepto en el caso de que se proceda a la sujeción de los pies. Este hecho no debe ser interpretado como una indicación al realizar ejercicios para los músculos abdominales débiles. Se trata más bien de una contraindicación debido a que, proporciona una oportunidad para realizar el levantamiento a la posición sedente con el tronco extendido. Hay registros electromiográficos que demuestran que el fijar los pies durante el levantamiento a la posición sedente se incrementa el nivel de participación de los flexores de las caderas. La sujeción de los pies hacia abajo proporcionan la oportunidad de permitir que los flexores de las caderas eleven el tronco extendido, aun en el caso de que exista una acentuada debilidad de los músculos abdominales.

Movimientos de los Brazos en la Prueba de los Músculos Abdominales

El efecto en el esfuerzo está en relación con la forma que se modifica el Brazo de Momento de la Resistencia (BMR).

La resistencia por el peso del tronco aplicado al centro de gravedad de éste, será mayor cuando el tronco está cerca de la horizontal, por que el BMR es mayor en este punto, así también el esfuerzo muscular para mover el tronco es también el máximo en esta parte.

El esfuerzo muscular se puede incrementar si la longitud del BMR aumenta; moviendo el centro de gravedad del tronco a un punto más cercano de la cabeza, y se puede lograr bien levantando los brazos o bien añadiendo peso (carga externa), la demanda de los músculos será marcadamente incrementada.

La posición de la cabeza se deberá también tener en cuenta, si la columna cervical está flexionada en el momento del levantamiento el BMR estará disminuido.

Existen otras variantes para hacer cambiar la resistencia, como son: la utilización de los planos inclinados, las posiciones en suspensión, cargas externas con el uso de tensores o elásticos, etcétera. Cada caso deberá ser estudiado en particular

para poder hacer el análisis que permitirá determinar la intensidad del trabajo de los músculos actuantes.

CONCLUSIÓN

Como se desprende de nuestra revisión, podemos concluir que los movimientos estudiados de levantamiento del tronco hasta los 30° y flexión inversa del tronco, han sido analizados desde el punto de vista biomecánico y electromiográfico y se ha demostrado que el grado de participación del músculo recto mayor del abdomen es mayor con respecto a los demás músculos de la pared abdominal en ambos movimientos. A su vez, cuando se flexiona inversamente el tronco puede afirmarse que la participación de la porción superior del recto mayor del abdomen es mayor con respecto a la inferior, mientras que la acción de los flexores de cadera es prácticamente nula con la posición inicial que conlleva luego a la realización del levantamiento del tronco a 30° o incorporación.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración y paciencia de todo el grupo de trabajo del Laboratorio de Biomecánica y Fisiología del Ejercicio del Instituto Federico W. Dickens, como así también a sus autoridades, personal administrativo y alumnos. También a todos los autores que facilitaron sus trabajos, en especial a M.A. Sarti, por su invaluable aporte.

REFERENCIAS

1. Kendall H.O., Kendall F.P (1985). Músculos Pruebas y Funciones. *2a edición. Wadsworth G.E. Editorial Jims. Barcelona*
2. Kapandji I.A (1998). Cuadernos de Fisiología Articular. *5a edición. Editorial Toray-Masson S.A. Madrid*
3. Luttgens K., Wells K.F (1990). Kinesiología, Bases Científicas del Movimiento Humano. *No Disponible*
4. Hislop H., Montgomery J (2001). Pruebas Funcionales Musculares. *Editorial Marban. Madrid*
5. Latarjet M., Ruiz Liard A (1998). Anatomía Humana. *Editorial Médica Panamericana. Madrid*
6. Juker D., McGill S., Kropf P., Steffen T (1998). Quantitative intramuscular myoelectric activity of lumbar portions of psoas and the abdominal wall during a wide variety of tasks. *Med. Sci. Sports Exerc. Vol.: 30, n°2, pp. 301-310*
7. Sands W.A., McNeal J (2002). A kinematic comparison of four abdominal training devices and traditional abdominal crunch. *J. Strength Cond. Res. 16 (1): 135-141*