

ESTUDIOS DE ANTROPOLOGÍA BIOLÓGICA

VOLUMEN XIII

**

Editoras

Magalí Civera Cerecedo
Martha Rebeca Herrera Bautista



Instituto Nacional
de Antropología
e Historia



Consejo Nacional
para la
Cultura y las Artes



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ANTROPOLÓGICAS
INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA
ASOCIACIÓN MEXICANA DE ANTROPOLOGÍA BIOLÓGICA
MÉXICO 2007

Comité editorial

Xabier Lizarraga Cruchaga
Abigail Meza Peñaloza
Florencia Peña Saint Martin
José Antonio Pompa y Padilla
Carlos Serrano Sánchez
Luis Alberto Vargas Guadarrama

Todos los artículos fueron dictaminados

Primera edición: 2007

© 2007, Instituto de Investigaciones Antropológicas
Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad Universitaria, 04510, México, D.F.

© 2007, Instituto Nacional de Antropología e Historia
Córdoba 45, Col. Roma, 06700, México, D.F.
sub_fomento.cncpbs@inah.gob.mx

© 2007, Asociación Mexicana de Antropología Biológica

ISSN 1405-5066

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización
escrita del titular de los derechos patrimoniales

D.R. Derechos reservados conforme a la ley
Impreso y hecho en México
Printed in Mexico

BIOMECÁNICA Y USO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS

ELEGIR, DE TRES PRUEBAS SUGERIDAS, LA QUE REFLEJE CON MAYOR CERTEZA EL GRADO DE FLEXIBILIDAD EN EL APARATO LOCOMOTOR

Matilde Espinosa Sánchez

*Unidad de Investigación en Cómputo Aplicado, DGSCA,
UNAM*

RESUMEN

La flexibilidad es una cualidad física que resulta de las propiedades morfológico-funcionales del aparato locomotor. De las características de movilidad articular y elasticidad muscular depende la amplitud del recorrido de las articulaciones. Este trabajo tuvo como objetivo elegir, de tres pruebas sugeridas, la que refleja con mayor certeza el grado de flexibilidad de los individuos al acercar la parte anterior del tronco a los muslos. Se evaluó una muestra de 24 individuos entre 14 y 22 años de edad, 13 varones y 11 mujeres, cada uno ejecutó las tres diferentes pruebas de flexibilidad. El resultado de la evaluación es el mayor alcance con las yemas de los dedos de las manos sobre una escala en centímetros en el instante de flexión máxima. Las ejecuciones de los participantes fueron grabadas con dos cámaras de video, una capturando la proyección sagital y la otra la proyección frontal de la realización de las pruebas. Se midieron tres intentos en cada prueba, del mejor intento se seleccionó el cuadro de video correspondiente para las dos vistas. Se midieron los ángulos entre los segmentos corporales para conocer el rango de movimiento. Los valores de los ángulos medidos y las longitudes de los alcances de las pruebas son relacionados con el desempeño de los participantes con el fin de conocer si existe una relación entre ellos.

PALABRAS CLAVE: flexibilidad, rango de movimiento, unión articular.

ABSTRACT

The flexibility is a physical quality that comes from the morphologic-functional properties of the locomotive apparatus and is based on the articulation movility and the muscular elasticity. The amplitude of the joints displacement depends on the characteristics of these qualities. This work had as objective to choose, between three suggested tests, the one that reflects with greater certainty the degree of flexibility of the individuals when approaching the front part of the trunk to the thighs. The tests involve the low part of the trunk and the hip. A sample of 24 individuals between 14 and 22 years of age, 13 men and 11 women executed the three different flexibility tests. The evaluation result is the greater reach with the fingers yolks on a scale in centimeters at the moment of maximum flexion. The individuals were recorded with two camcorders capturing the frontal and the the sagital projection of the accomplishment of the tests. Three attempts in each test were performed. The best attempt and the picture of corresponding video for the two views were selected. On this images the angles between segments were measured in order to know the range of movement. The values of the measured angles and the reached lengths of the tests were related to the performance of the individuals with the purpose of knowing if a relation among them exists.

KEY WORDS: flexibility, range of motion, joint union.

INTRODUCCIÓN

Definición de flexibilidad

La flexibilidad es una cualidad física que resulta de las propiedades morfológico-funcionales del aparato locomotor y está basada en la movilidad articular y en la elasticidad muscular (Martín *et al.* 2001). De las características de estas cualidades depende la amplitud del recorrido de las articulaciones. El rango de movimiento (ROM, por sus siglas en inglés) de determinada unión articular en un individuo está influenciado por las particularidades de las estructuras óseas (forma de las articulaciones), y de las cualidades elásticas de los músculos, tendones y ligamentos que están asociados con esa unión articular en el cuerpo del individuo en cuestión. Existen otros factores que influyen en la flexibilidad del cuerpo que son la eficacia en la regulación nerviosa y el nivel de desarrollo de la fuerza de los músculos asociados (Platonov 2001).

Evaluación de la flexibilidad

Para evaluar el nivel de desarrollo de los individuos en la capacidad para ejecutar movimientos con una gran amplitud, es decir, para medir el nivel de la flexibilidad, es necesario medir la amplitud máxima en las uniones articulares. Esto se puede hacer mediante diversos procedimientos mecánicos (por ejemplo, usando un goniómetro), radio-gráficos (rayos X) o utilizando métodos ópticos (instrumentos de registro fotográfico, cine o video) (Miller *et al.* 1973, Zatsiorski 1989).

La flexibilidad es posible medirla en grados angulares o en medidas lineales (centímetros). Si se emplean indicadores lineales se hace necesario corregir el resultado de la medición, considerando las dimensiones corporales de los individuos, como la longitud de los miembros superiores, los miembros inferiores y la estatura (Zatsiorski 1989).

El grado máximo de la flexibilidad en los individuos se da con el paso de la infancia a la adolescencia, después naturalmente se va perdiendo en forma progresiva. Dentro del ámbito de la actividad física es un factor que debe entrenarse constantemente desde edades tempranas, con la idea de guardar reservas para la edad avanzada (Ruiz 1994, Mandel 1987). La flexibilidad no tiene carácter global, es decir, se puede ser muy flexible en una unidad articular, pero otras podrían ser muy poco flexibles (Ruiz 1994).

Componentes que determinan el grado de movimiento

La forma de las articulaciones determina qué tipo de movimientos permite realizar (flexión, extensión, abducción, rotación interna, etcétera), puede ser esferoidal, que permite movimientos en tres dimensiones como es el caso de la cadera (coxofemoral); o de bisagra, como la articulación humerocubital en el codo, que es monoaxial y sólo permite flexión-extensión. Las articulares en el tronco tienen características distintas, solamente 24 tienen movimiento y están distribuidas en cinco secciones: siete cervicales, 12 torácicas y cinco lumbares. El ROM de la columna varía mucho de un individuo a otro; el tronco puede realizar flexión, extensión, flexión lateral y rotación. El rango de flexión es importante en la región cervical y la extensión es mayor en la región lumbar donde también es mayor la flexión. Asimismo, en la lumbar, donde la flexión

lateral tiene más ROM, y es en ésta donde la unión articular L4-L5 permite la mayor libertad de movimientos. La región torácica es muy estable, el ROM es significativamente restringido y la flexión lateral es limitada, pero en cambio la rotación es más pronunciada (Martín *et al.* 2001, Moore 1993).

Músculos asociados

Al contraerse los músculos del abdomen el tronco se flexiona, sin embargo, en la posición de pie el efecto que provoca la gravedad hace que el tronco prácticamente caiga al frente y entonces la acción del *rectus abdominis* no es necesaria. Cuando hay más flexión participa también el músculo iliopsoas. Los músculos erectores de la columna son sus principales extensores y antagonistas (que oponen resistencia al movimiento) en estos ejercicios, regulan la flexión resistiéndose a una flexión rápida. La acción de estos músculos puede impedir la completa flexión del tronco por falta de elasticidad (Calais-Germain 1993, Moore 1993). En la flexión de los hombros los músculos involucrados son, en mayor medida, el deltoides anterior, el pectoral mayor y poca participación del coracobraquial. La extensión del codo se da por la acción del tríceps con la asistencia del ancóneo. Los músculos del muslo: *rectus femoris*, iliopsoas, *tensor fasciae latae* y el *sartorius*, principalmente participan en la flexión de la cadera (Kapit 1993). Para extender la rodilla se activan los *cuadriceps femoris*. Los femorales posteriores o musculatura isquiosural (*músculos semimembranosus*, *semitendinosus* y *bíceps femoris*) restringen el rango de movimiento en la flexión de cadera (son los antagonistas). La reducida elasticidad de los femorales posteriores limita la flexión de cadera con la rodilla extendida; pero si la rodilla está flexionada, entonces la flexión de cadera puede ser incrementada (Kapit 1993). Finalmente los músculos en la muñeca y dedos de las manos procuran, al estirarse, la mayor elongación posible.

La principal limitación en la flexibilidad de una unión articular se presenta por la actividad de los músculos antagonistas al movimiento. Para incrementar la flexibilidad es necesario combinar la acción de los músculos que efectúan el movimiento (la fuerza) con la relajación (estiramiento) de aquellos que se oponen a éste (Platonov 2001, Harre

1987). Las particularidades de la unión articular establecen límites anatómicos que con entrenamiento especial pueden ser modificados, es decir, hasta cierto grado es posible mejorar la elasticidad de tendones, ligamentos y músculos a través de ejercicios sistemáticos.

Por otro lado, el grado de flexibilidad afecta la fluidez y coordinación de los movimientos. La falta de actividad física disminuye la flexibilidad (Grosser *et al.* 1988) y el individuo está propenso a desviaciones de la postura y a lesiones. El desempeño de los individuos en cada actividad, ya sea en el trabajo, en el deporte o en la vida cotidiana, tiene exigencias específicas de flexibilidad. Los ejercicios de flexibilidad pueden ser ejecutados en forma activa, voluntaria; la flexibilidad pasiva, en cambio, requiere de una fuerza externa (Grosser 1988, Harre 1987). Por otro lado, no es igual aplicar una prueba de flexibilidad en la mañana que en la tarde, entre otras cosas, debido a la temperatura ambiente (Martín *et al.* 2001, Harre 1987). Para evitar lesiones se sugiere realizar ejercicios de calentamiento antes de ejecutar los de flexibilidad.

PRUEBAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA FLEXIBILIDAD

En la literatura es común encontrar el concepto de flexibilidad como agilidad o movilidad.

La Comisión Nacional del Deporte (CONADE), por medio de los profesores Estela Vega Molina y José Luis Anaya Moreno, de la Dirección de Deporte Estudiantil, solicitó un estudio biomecánico que asistiera en la determinación de cuál de tres pruebas propuestas refleja con mayor certeza el grado de flexibilidad de los individuos. Los tres ejercicios para la evaluación consistieron básicamente en acercar la parte anterior del tronco a la parte anterior de los muslos; en la ejecución, y para lograr máxima flexión o alcance, se activan principalmente: rodillas, caderas, zona lumbar de la columna, hombros y codos, más tendones, ligamentos y músculos asociados. Debido a la actividad de las uniones articulares mencionadas, las pruebas pueden considerarse de flexibilidad general.

OBJETIVO

Este trabajo tuvo como objetivo elegir, de tres pruebas sugeridas, la que refleje con mayor certeza el grado de flexibilidad de los individuos al acercar la parte anterior del tronco a la anterior de los muslos.

METODOLOGÍA

El método empleado en este trabajo es óptico, el cual se utiliza en las mediciones de los parámetros cinemáticos (posición, ángulos, distancias, velocidades) que describen el movimiento del cuerpo humano en la biomecánica deportiva (Miller *et al.* 1973, Hay *et al.* 1988, Robertson *et al.* 2004). En este caso, los movimientos de los individuos ejecutando las flexiones para lograr el máximo alcance fueron registrados simultáneamente por dos cámaras de video convencional, una capturó la proyección del cuerpo en el plano sagital y la otra en el plano frontal.

Para describir cuantitativamente, como en este caso, la amplitud de un ángulo entre segmentos corporales se identifican en la imagen (fotografía) de un individuo las coordenadas (x,y) de los puntos anatómicos que delimitan la unión articular (hombro, codo, cadera o rodilla) en cuestión. Las imágenes de los individuos son los cuadros del video registrado y digitalizado en una computadora.

La precisión del método utilizado depende de: las distancias entre el objetivo y las cámaras que para evitar distorsión fue de al menos 10 m, de los ángulos entre la línea de foco de las cámaras y los planos sagital y frontal de los individuos (90°), y de los posibles errores en la identificación de los puntos anatómicos que delimitan los segmentos corporales asociados con las uniones articulares. En el análisis se representó el cuerpo humano en 14 segmentos lineales, es decir 14 líneas rectas (Espinosa 1993).

La amplitud de los ángulos en cada posición del cuerpo se comparó con la amplitud de los ángulos en la posición anatómica, considerada la posición cero o la posición de referencia que es adoptada universalmente para describir la localización de una parte del cuerpo con otra, y asimismo explicar los movimientos. En ésta, el individuo está en

bipedestación erecta, extendido, con ojos, cabeza, palmas de las manos y pies dirigidos hacia delante (Hay *et al.* 1973, Moore 1993).

Se evaluó una muestra de 24 individuos entre 14 y 22 años de edad, 13 varones y 11 mujeres. Las tres pruebas se aplicaron a todos los participantes a partir de las 11 horas y antes de las 13, después de una sesión de ejercicios de calentamiento.

Los profesores Vega y Anaya aplicaron las tres pruebas midiendo el desempeño de cada individuo en tres intentos en cada prueba y simultáneamente se hizo el registro en video con las dos cámaras. La descripción de los ejercicios aplicados como pruebas de flexibilidad es la siguiente:

1) Flexión de pie en banco (prueba referida en los cuadros como b). Para esta prueba se requiere un banco de al menos 30 cm de altura y una regla colocada verticalmente con escala negativa hacia la parte superior del vértice horizontal del banco, y escala positiva hacia el piso. El individuo se pone de pie y descalzo sobre el banco, con los pies juntos y las puntas al ras del borde del banco, lentamente realiza una flexión de tronco al frente, sin flexionar las rodillas, llevando las manos juntas una sobre la otra con los dedos de las manos extendidos y estirados, lo más abajo posible en relación con la punta de los pies. La medición se hace cuando el individuo tiene el máximo alcance sobre la escala con los dedos medios. En este ejercicio se tiene la ventaja de la aceleración de la gravedad, la dimensión de miembros superiores y tórax influyen en el desempeño, ya que de alguna manera ayudan en el alcance con el peso.

2) Flexión con piernas separadas (prueba referida en los cuadros como p). Para hacer la medición en esta prueba se requiere trazar una línea recta de aproximadamente 2 m de largo sobre el piso, pegar una escala de 40 a -40 cm perpendicular al centro de la línea, con el cero en el punto que cruza la línea con la escala negativa hacia la parte posterior del individuo. Se requiere también de una escuadra. El individuo se coloca de pie, descalzo y con los talones delante de la línea marcada en el piso, con una separación tal que los miembros inferiores formen un ángulo recto a partir de la línea interglútea que corresponde normalmente al cóccix. Con los brazos elevados sobre la cabeza, los codos extendidos, las manos juntas palma con palma y los dedos de las manos extendidos y estirados, flexiona el tronco al frente y pasa los brazos por en medio de las pier-

nas para tocar el piso por atrás de los talones, lo más lejos de la línea posible y sin flexionar las rodillas, hasta alcanzar la distancia máxima sobre la escala con la punta de los dedos medios. En este ejercicio también se tiene la ventaja de la aceleración de la gravedad sobre los miembros superiores y el tórax.

3) Flexión sentado en el piso (prueba referida en los cuadros como s). Para hacer la medición en esta prueba se requiere trazar una línea recta en el piso sobre la cual se marca una distancia de 30 cm. Perpendicular a la mitad de la línea recta se coloca una doble escala de -30 a 30 cm con el cero en el punto que cruza la línea y la escala. El individuo se coloca sentado, descalzo y con los talones separados en las marcas de los 30cm. Con los brazos elevados sobre la cabeza, los codos extendidos, las manos juntas una sobre la otra y los dedos de las manos extendidos y estirados, flexiona el tronco al frente con las rodillas rectas, hasta alcanzar la distancia máxima sobre la escala con la punta de los dedos medios. Es importante señalar que existe la posibilidad de que la manera de sentarse afecte el alcance, la cadera debe estar echada para adelante y la espalda recta.

La figura 1 muestra un ejemplo de la posición anatómica y las posturas en el momento de máximo alcance durante la ejecución de las pruebas de flexibilidad. Las vistas frontal (VF) y sagital (VS) corresponden al mismo instante. Se muestran también, los ángulos medidos entre los segmentos corporales derechos representados con líneas rectas. Donde, ca: cabeza, tr: tronco, bd: brazo derecho, md: muslo derecho, ad: antebrazo derecho, md: mano derecha, pd: pierna derecha y pie derecho. En los cuadros seleccionados del mejor desempeño se midieron los ángulos entre los segmentos corporales: cabeza-tronco (columna a nivel cervical), tronco-brazo (hombro), tronco-muslo (cadera), muslo-pierna (rodilla), pierna-pie (tobillo), brazo-antebrazo (codo) y antebrazo-mano (muñeca).

RESULTADOS

En el cuadro 1 se muestran las características de la muestra analizada. Los valores de estatura y longitud de miembros superiores (M. Sup.) e inferiores (M. Inf.) derechos son longitudes que fueron medidas sobre imágenes digitalizadas en computadora, usando como referencia

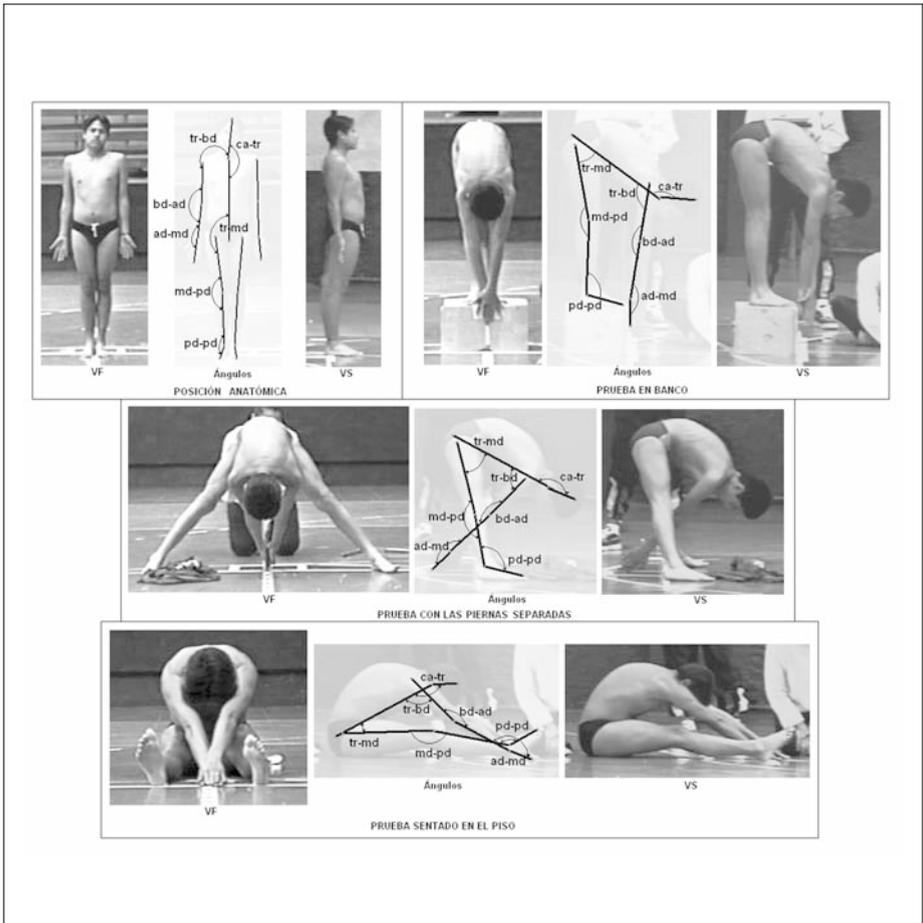


Figura 1. Vistas de las proyecciones frontal (VF) y sagital (VS), y la medición de ángulos en posición anatómica y posiciones de máximo alcance durante la ejecución de las pruebas de flexibilidad.

las longitudes conocidas de un objeto de dimensiones regulares que también fue video grabado.

Para cada individuo se requirieron ocho cuadros, cuatro de la proyección frontal y cuatro de la sagital, en las posiciones: a = anatómica, b = prueba en un banco, p = prueba con las piernas separadas, y s = prueba sentado en el piso.

Cuadro 1
Datos de los individuos que componen la muestra

Hombres				Mujeres			
Id.	Estatura	M. inf	M. sup	Id.	Estatura	M. inf	M. sup
1	158	81	66	14	143	71	67
2	160	84	69	15	150	78	65
3	158	82	71	16	151	76	64
4	175	89	85	17	150	74	70
5	168	84	76	18	159	78	70
6	170	89	76	19	146	75	62
7	174	90	79	20	155	78	66
8	176	102	80	21	141	69	60
9	159	80	67	22	155	77	70
10	160	78	68	23	167	86	66
11	173	83	74	24	149	76	68
12	160	81	68				
13	166	81	67				

Número de identificación (Id), estatura, longitud de los miembros inferiores (M. inf.) y superiores (M. sup.) derechos expresados en centímetros.

Desempeño de los individuos

Los resultados de las evaluaciones se muestran en el cuadro 2: el valor medido de los tres intentos, el valor máximo, los valores promedio, el lugar obtenido de acuerdo con el desempeño en orden ascendente (donde el 1 indica el mejor y 24 el peor) y los valores de un porcentaje considerando los rangos (valores máximos y mínimos) obtenidos para cada prueba. El cálculo de este porcentaje se hizo utilizando la siguiente relación:

$$V_{\max} - V_{\min} \hat{=} 100\%$$

$$N_{\text{valor}} - V_{\min} \hat{=} X\%$$

Los resultados se ajustaron relacionándolos con dos diferentes índices que involucran las medidas individuales de las longitudes de la estatura, miembros inferiores y superiores derechos, con el objetivo de considerar su posible influencia en el desempeño. El resultado de los

Cuadro 2
Resultados de las pruebas de evaluación. Valores en centímetros de los tres intentos

Individuos	Flexión de pie en banco [cm]						Flexión piernitas abiertas [cm]						Flexión sentado en piso [cm]						Desempeño [%]					
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	P	B	S	Prom	Lugar	
Sexo	1	8	8	8	8	8	21	20	18	21	21	21	2	2	2	2	2	2	50.00	59.38	56.79	55.39	17	
M	9	11	12	12	12	12	30	27	33	33	33	33	10	10	10	10	10	10	81.58	71.88	81.48	78.31	9	
a	16	13	15	16	16	16	25	19	28	28	28	28	4	7	7.5	7.5	7.5	7.5	68.42	84.38	70.37	74.39	10	
s	2	4	4	4	4	4	21	23	26	26	26	26	-19	-16	-16	-16	-16	-16	63.16	46.88	12.35	40.79	21	
c	10	12	12	12	12	12	20	21	22	22	22	22	2	2	2	2	2	2	52.63	71.88	59.26	61.26	15	
u	6	8	5	8	8	8	17	20	17	17	17	17	-6	-4	-4	-4	-4	-4	47.37	59.38	41.98	49.37	19	
l	1	3	4	4	4	4	16	17	17	17	17	17	-6	-2	-1	-1	-1	-1	39.47	46.88	49.38	45.24	20	
i	-11	-9	-10	-9	-9	-9	2	4	4	4	4	4	-21	-19	-16	-16	-16	-16	5.26	6.25	12.35	7.95	24	
n	5	3	4	5	5	5	20	21	25	25	25	25	-5	-2	1	1	1	1	60.53	50.00	54.32	54.95	18	
o	9	9	10	10	10	10	28	31	31	31	31	31	1	3	5	5	5	5	76.32	65.63	64.20	68.71	13	
	9	14	15	15	15	15	24	29	30	30	30	30	13	12	12	12	12	12	83.68	81.25	83.95	79.63	8	
	-9	-7	-5.5	-5.5	-5.5	-5.5	15	21	21	21	21	21	-10	-15	-10	-10	-10	-10	50.00	17.19	27.16	31.45	23	
	1	2	3	3	3	3	18	18	22	22	22	22	-16	-14	-14	-14	-14	-14	52.63	43.75	17.28	37.89	22	
	11	11	12	12	12	12	23	27	26	27	27	27	6	9	10	10	10	10	65.79	71.88	76.54	71.40	12	
F	18	20	21	21	21	21	30	34	36	36	36	36	16	18	19.5	19.5	19.5	19.5	89.47	100.00	100.00	96.49	1	
e	15	16	17	17	17	17	31	29	31	31	31	31	13	13	13	13	13	13	76.32	87.50	83.95	82.59	7	
m	4	9	10	10	10	10	20	20	20	20	20	20	-2	5	5.5	5.5	5.5	5.5	47.37	65.63	65.43	59.48	16	
e	14	16	17	17	17	17	33	39	39	39	39	39	16	17	17.5	17.5	17.5	17.5	97.37	87.50	95.06	93.31	2	
n	14	14	14	14	14	14	30	31	32	32	32	32	11	16	16	16	16	16	78.95	78.13	91.36	82.81	6	
i	16	17	17.5	17.5	17.5	17.5	34	34	36	36	36	36	19	19	19	19	19	19	89.47	89.06	98.77	92.43	3	
n	11	12	12	12	12	12	26	28	24	28	28	28	10	6	5	5	5	5	68.42	71.88	76.54	72.28	11	
o	13	14	15	15	15	15	35	39	36	39	39	39	10	10	11	11	11	11	97.37	81.25	79.01	85.88	5	
	11	13	13	13	13	13	34	37	40	40	40	40	11	13	13	13	13	13	100.00	75.00	83.95	86.32	4	
	9	13	13	13	13	13	21	26	24	26	26	26	2	3	3	3	3	3	63.16	75.00	59.26	65.81	14	
max	21	rango	32	max	32	max	40	rango	38	max	38	max	19.5	rango	40.5	40.5	40.5	40.5						
min	-11	media	16	min	16	min	2	media	19	min	19	min	-21	media	20.250	20.250	20.250	20.250						

El valor máximo (VM), el porcentaje de cada intento en relación con rango de la prueba, el porcentaje promedio y el lugar que ocupa cada individuo por su desempeño (b = banco, p = piernitas, s = piso).

valores ajustados se muestra en el cuadro 3, tras hacer también la consideración de porcentajes. Los índices son los siguientes:

IND1 = Miembro inferior/Miembro superior

IND2 = Estatura/ (Miembro inferior+Miembro superior)

En los cuadros 2 y 3 se puede observar que los individuos con mejores resultados son de sexo femenino (ID: 15, 20, 18, 22), aun después de los ajustes que consideraron la longitud de la estatura y miembros superiores e inferiores derechos. Los peores resultados corresponden a individuos del sexo masculino (ID: 4, 13, 12, 8).

Ángulos entre segmentos corporales

Las mediciones de los ángulos entre segmentos se hicieron en el lado derecho de los individuos debido a que este lado es el que se muestra en las imágenes de la proyección sagital en la grabación de los ejercicios. El cuadro 4 muestra unos ejemplos de los valores de los ángulos entre los segmentos corporales en las vistas frontal y sagital de las diferentes posiciones que adopta el cuerpo.

Se calcularon las sumas en las cuatro posiciones (véase el cuadro 5). En proyección frontal, y considerando los valores medios, el ejercicio en el que se tiene mayor variación en la suma de la amplitud de los ángulos es la prueba de sentado en el piso, le sigue la del banco y por último la de piernas separadas. En cambio, en la proyección sagital la mayor variación en la suma de la amplitud de los ángulos es la prueba en el banco, continúa la prueba de sentado en el piso y por último la prueba de piernas separadas.

La diferencia de la amplitud de los ángulos se hace restando el valor de cada ángulo en el momento de mejor desempeño de cada prueba, al valor correspondiente en posición anatómica (cuadro 6). En este caso existe también una diferencia entre los resultados de la vista frontal y la sagital. En la proyección frontal, considerando los valores medios, la prueba de sentado en el piso indica la mayor diferencia, después la del banco y por último la de piernas separadas. En la proyección sagital, la prueba en el banco es la de mayor diferencia, le sigue la de sentado en el piso y por último la de piernas separadas.

Cuadro 3

Resultados ajustados que consideraron la estatura y la longitud de los miembros inferiores y miembros superiores para el cálculo de IND1 e IND2 según las ecuaciones que se presentan en el texto.

ID	Sexo	IND1	b	p	s	%prom	Lugar	IND2	b	p	s	%prom	Lugar
1	M	1.21	9.71	25.48	2.43	51.09	17	1.08	8.62	22.62	2.15	51.83	17
2	M	1.21	14.52	39.92	14.52	74.92	8	1.05	12.55	34.51	12.55	75.92	9
3	M	1.16	18.54	32.44	8.69	68.83	10	1.04	16.59	29.03	7.78	71.24	10
4	M	1.05	4.21	27.37	-16.85	32.78	21	1.00	4.02	26.12	-16.08	33.09	21
5	M	1.10	13.24	24.28	3.31	54.12	15	1.05	12.62	23.14	3.15	57.57	15
6	M	1.17	9.33	23.33	-4.67	43.83	19	1.03	8.23	20.57	-4.11	43.88	19
7	M	1.14	4.57	19.41	-1.14	39.39	20	1.03	4.10	17.43	-1.03	39.50	20
8	M	1.27	-11.47	5.10	-20.39	0.00	24	0.97	-8.69	3.86	-15.45	0.57	24
9	M	1.18	5.92	29.58	1.18	49.62	18	1.08	5.42	27.08	1.08	51.19	18
10	M	1.16	11.60	35.97	5.80	62.84	12	1.10	10.96	33.97	5.48	67.22	13
11	M	1.12	16.83	33.65	14.58	72.62	9	1.11	16.60	33.21	14.39	80.92	8
12	M	1.18	-6.49	24.79	-11.80	25.05	23	1.08	-5.93	22.62	-10.77	24.06	23
13	M	1.21	3.62	26.52	-16.88	31.61	22	1.12	3.35	24.58	-15.64	31.43	22
14	F	1.06	12.67	28.50	10.56	62.11	13	1.05	12.63	28.42	10.53	68.89	12
15	F	1.20	25.22	43.24	23.42	93.79	1	1.04	21.76	37.30	20.20	95.41	1
16	F	1.19	20.28	36.98	15.51	78.83	6	1.05	17.86	32.58	13.66	81.08	7
17	F	1.05	10.48	20.96	5.76	51.11	16	1.08	10.81	21.61	5.94	56.83	16
18	F	1.11	18.90	43.36	19.45	85.11	4	1.05	17.77	40.77	18.29	92.29	3
19	F	1.22	17.14	39.18	19.59	80.64	5	1.07	15.01	34.32	17.16	82.67	6
20	F	1.19	20.88	42.95	22.67	89.07	2	1.07	18.67	38.41	20.27	93.05	2
21	F	1.16	13.88	32.38	11.56	66.73	11	1.07	12.90	30.09	10.75	70.83	11
22	F	1.09	16.36	42.53	11.99	76.53	7	1.09	16.37	42.56	12.00	86.52	4
23	F	1.30	16.89	51.98	16.89	87.46	3	1.06	13.77	42.36	13.77	85.12	5
24	F	1.11	14.42	28.84	3.33	58.45	14	1.10	14.30	28.60	3.30	64.25	14
		max	25.22	51.98	23.42			max	21.76	42.56	20.27		
		min	-11.47	5.10	-20.39			min	-8.69	3.86	-16.08		
		rango	36.69	46.88	43.81			rango	30.45	38.69	36.35		
		media	18.35	23.44	21.91			media	15.22	19.35	18.17		

Al considerar solamente los ángulos de mayor variación en relación con la posición anatómica: tronco-brazo (hombro) y tronco-muslo (cadera) derechos, se puede observar (cuadro 7) que en la proyección frontal no hay un orden análogo al del desempeño de los individuos en las pruebas; sin embargo, en la proyección sagital sí se puede observar un orden análogo mas no igual. En el cuadro 7 solamente se muestran los cuatro mejores y los cuatro peores resultados de las pruebas. Por otro lado, en el caso de las diferencias que consideraron también sólo

Cuadro 4

Ejemplos de valores de la amplitud de los ángulos entre segmentos

Id.	ca-tr	tr-bd	tr-md	md-pd	bd-ad	ad-md	pd-pd
1	176.8	0.2	174.3	179.6	167.6	174.5	124.3
2	174.3	2.5	177.3	178.0	178.3	171.7	154.5
3	177.9	2.0	171.4	175.1	174.5	175.5	147.0
Id.	ca-tr	tr-bd	tr-md	md-pd	bd-ad	ad-md	pd-pd
1	170.1	106.2	48.4	165.4	175.2	179.0	107.2
2	160.5	112.7	47.5	171.4	171.0	162.8	109.3
3	152.7	108.8	45.2	163.3	169.6	168.7	103.7

La parte superior de la vista frontal de la posición anatómica, la parte inferior, la proyección sagital de la máxima flexión en banco. Id = individuo, ca-tr = ángulo entre cabeza y tronco, tr-bd = ángulo entre tronco y brazo derecho, tr-md = ángulo entre tronco y muslo derecho, md-pd = ángulo entre muslo y pierna derechos, bd-ad = ángulo entre brazo y antebrazo derechos, ad-md = ángulo entre antebrazo y mano derechos, y pd-pd = ángulo entre pierna y pie derechos.

los ángulos de mayor variación en relación con la posición anatómica (cuadro 8) se nota que en la proyección frontal tampoco hay un orden análogo al del desempeño de los individuos en las pruebas, y de igual manera se aprecia un orden análogo pero diferente en la proyección sagital.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La medición del alcance máximo de las pruebas de evaluación y los ajustes a las mediciones por medio de los índices (IND1 e IND2) originan listas semejantes en el orden de desempeño de los individuos, como se ve en el cuadro 3. Adicionalmente, al elegir una prueba de flexibilidad, en este trabajo se pretendió encontrar una relación entre los resultados obtenidos por los individuos en los ejercicios de evaluación con la amplitud de los ángulos entre segmentos, medidos sobre las imágenes correspondientes a las proyecciones frontal y sagital del instante de máxima flexión.

Cuadro 5

Suma de los ángulos en las posiciones anatómica y de mejor desempeño en cada prueba para cada individuo en las dos vistas

ID	Vista frontal				Vista sagital			
	Suma a	Suma b	Suma p	Suma s	Suma a	Suma b	Suma p	Suma s
1	997.2	1048.7	1027.0	994.6	975.7	951.4	980.0	924.6
2	1036.5	1073.1	1034.5	965.9	1038.7	935.2	949.5	912.0
3	1023.3	1038.9	1015.9	986.4	1012.6	912.0	955.5	918.3
4	1018.6	1045.6	1031.3	974.6	989.1	917.1	935.6	952.9
5	983.5	1081.5	1038.5	850.6	973.0	910.4	984.6	866.8
6	1003.7	1034.2	1006.6	946.4	987.0	886.3	920.2	938.8
7	1013.6	1027.7	1012.7	1000.6	1004.2	972.5	946.3	908.1
8	1031.5	1013.2	1022.4	966.0	1019.8	958.1	960.9	897.3
9	1009.7	1050.5	1037.3	991.5	997.0	879.0	981.7	948.3
10	1007.3	1056.7	1020.5	950.2	997.7	883.9	900.0	921.8
11	1020.2	1048.9	1057.4	869.6	1012.4	907.5	965.0	894.9
12	1019.0	1107.4	1051.1	864.3	988.0	951.2	950.8	921.6
13	1009.4	1044.8	1030.8	957.6	991.9	936.6	919.0	913.6
14	1009.4	1017.6	991.1	885.9	997.9	882.4	919.0	923.2
15	1019.2	1074.3	1029.2	943.3	1035.4	930.9	977.1	971.0
16	1018.3	1050.5	1049.7	1002.3	1008.3	942.4	982.7	933.5
17	1005.2	1027.0	1031.7	909.5	1010.3	928.2	980.4	951.0
18	1030.7	1066.7	1055.4	917.5	1021.5	879.1	977.2	957.6
19	1020.8	1047.6	1034.7	830.6	1012.7	926.9	937.2	866.1
20	1010.2	1050.1	1117.7	923.8	1001.0	916.8	1041.8	957.0
21	1001.5	1068.1	939.2	828.3	1026.0	768.2	869.6	909.7
22	1002.5	1086.3	999.5	1023.3	987.4	948.6	938.9	913.8
23	1008.1	1037.6	1075.8	857.5	1008.8	966.5	997.3	920.3
24	1005.1	1047.4	1035.4	967.3	1002.3	898.0	980.3	953.9
Media	1012.7	1051.9	1031.1	933.7	1004.1	916.2	956.3	924.0
Des. Est.	11.9	22.2	32.4	58.8	17.0	42.3	36.0	27.1
Variancia	140.5	492.1	1047.2	3461.8	287.8	1787.6	1299.2	732.4
Rango	53.0	94.2	178.5	195.0	65.8	204.3	172.2	104.9
Mínimo	983.5	1013.2	939.2	828.3	973.0	768.2	869.6	866.1
Máximo	1036.5	1107.4	1117.7	1023.3	1038.7	972.5	1041.8	971.0
Suma	24304.5	25244.4	24745.4	22407.6	24098.8	21989.2	22950.5	22176.0

Cuadro 6
 Valores de las diferencias de la suma de los ángulos entre las posiciones de mejor desempeño
 y la anatómica de cada individuo en las dos vistas

ID	Vista frontal					Vista sagital						
	a-b	lugar	a-p	lugar	a-s	lugar	a-b	lugar	a-p	lugar	a-s	lugar
1	-51.5	6	-29.8	9	2.6	24	24.4	24	-4.2	24	51.2	19
2	-36.7	11	2.0	23	70.6	12	103.5	9	89.2	3	126.8	2
3	-15.6	22	7.5	20	37.0	19	100.6	11	57.1	11	94.3	8
4	-27.0	18	-12.7	17	44.0	17	72.1	15	53.5	12	36.2	24
5	-98.0	1	-55.0	4	132.9	6	62.5	17	-11.6	22	106.2	6
6	-30.5	15	-2.9	22	57.3	14	100.7	10	66.8	7	48.2	22
7	-14.1	23	0.9	24	13.0	23	31.6	23	57.9	10	96.1	7
8	18.3	21	9.1	19	65.5	13	61.6	18	58.9	8	122.4	3
9	-40.9	9	-27.6	10	18.2	21	118.0	3	15.3	21	48.7	20
10	-49.4	7	-13.2	16	57.1	15	113.7	5	97.7	2	75.9	11
11	-28.7	17	-37.2	5	150.6	5	104.9	6	47.4	14	117.5	4
12	-88.4	2	-32.1	6	154.7	3	36.8	22	37.2	17	66.4	15
13	-35.4	13	-21.4	13	51.8	16	55.3	19	72.9	6	78.3	10
14	-8.2	24	18.2	14	123.5	7	115.6	4	79.0	4	74.8	13
15	-55.2	5	-10.0	18	75.9	11	104.5	7	58.3	9	64.4	16
16	-32.2	14	-31.4	7	16.0	22	65.9	16	25.6	19	74.8	12
17	-21.8	20	-26.6	11	95.7	9	82.2	14	29.9	18	59.3	18
18	-36.0	12	-24.7	12	113.1	8	142.4	2	44.3	15	63.8	17
19	-26.7	19	-13.9	15	190.2	1	85.9	12	75.6	5	146.7	1
20	-39.9	10	-107.5	1	86.4	10	84.2	13	-40.8	16	44.0	23
21	-66.6	4	62.3	3	173.2	2	257.8	1	156.4	1	116.3	5
22	-83.8	3	3.1	21	-20.8	20	38.8	21	48.6	13	73.6	14
23	-29.5	16	-67.8	2	150.6	4	42.3	20	11.5	23	88.5	9
24	-42.3	8	-30.3	8	37.8	18	104.3	8	22.0	20	48.4	21
Media	-39.2		-18.4		79.0		87.9		47.8		80.0	
Desv. Est.	26.0		32.2		58.3		48.0		40.2		30.1	
Variancia	676.7		1035.7		3394		2306.7		1620.0		897.6	
Rango	116.3		169.8		211.0		233.4		197.2		110.5	
Mínimo	-98.0		-107.5		-90.8		24.4		-40.8		36.2	
Máximo	18.3		62.3		190.2		257.8		156.4		146.7	
Suma	-940.1		-441.0		1896.9		2109.6		1148.3		1922.8	

Cuadro 7
Suma de los ángulos de mayor variación: tronco-brazo (tr-bd = hombro) o tronco-muslo (tr-md = cadera), para las tres pruebas en las vistas frontal y sagital

Vista frontal						Vista sagital									
ID	lugar medido	tr-bd b	lugar	tr-bd P	lugar	tr-bd s	lugar	ID	lugar medido	tr-bd b	lugar	tr-bd p	lugar	tr-bd s	lugar
15	1	198.1	9	131.9	5	25.8	6	15	1	117.1	3	73.5	3	108.7	3
18	2	198.0	10	129.3	7	23.0	13	18	2	115.3	4	70.3	6	105.4	5
20	3	214.4	2	153.7	1	25.4	7	20	3	117.6	2	74.6	2	113.8	1
23	4	195.1	14	130.9	6	20.3	19	23	4	108.9	8	70.7	4	106.3	4
4	21	189.8	19	122.5	12	19.1	20	4	21	98.3	20	59.9	13	75.7	23
13	22	184.7	22	118.3	15	27.3	4	13	22	99.0	17	48.0	24	73.1	24
12	23	220.8	1	132.6	4	21.1	17	12	23	98.7	19	53.6	21	76.0	22
8	24	196.6	12	112.0	21	23.7	9	8	24	94.7	22	58.3	16	79.7	21

ID	lugar medido	tr-md b	lugar	tr-md P	lugar	tr-md s	lugar	ID	lugar medido	tr-md b	lugar	tr-md p	lugar	tr-md s	lugar
15	1	5.8	12	29.7	10	59.8	13	15	1	36.1	2	35.8	5	37.7	6
18	2	2.0	5	25.3	3	97.7	23	18	2	28.6	1	27.4	2	36.1	4
20	3	12.2	21	34.2	12	73.9	16	20	3	41.9	7	43.4	14	30.3	2
23	4	10.8	18	45.7	23	90.9	21	23	4	54.6	20	40.8	11	37.3	5
4	21	2.8	9	26.0	5	25.5	2	4	21	50.3	17	43.9	15	63.1	23
13	22	7.8	15	40.1	19	46.0	7	13	22	49.9	16	40.3	10	52.9	17
12	23	17.1	23	37.2	14	91.0	22	12	23	56.3	21	37.4	8	54.8	20
8	24	1.8	4	34.1	11	50.3	9	8	24	65.6	24	59.8	23	64.2	24

Cuadro 8
 Diferencias de los ángulos de mayor variación: tronco-brazo (tr-bd = hombro) o tronco-muslo
 (tr-md = cadera), entre las posiciones de máxima flexión y la anatómica

Vista frontal						Vista sagital									
ID	lugar medido	tr-bd b	lugar	tr-bd P	lugar	tr-bd s	lugar	ID	lugar medido	tr-bd b	lugar	tr-bd P	lugar	tr-bd s	lugar
15	1	-190.1	14	-124	8	-17.8	15	15	1	-100.9	8	-57.2	11	-92.5	7
18	2	-190.3	13	-121.6	11	-15.3	19	18	2	-103.4	6	-58.4	8	-93.5	6
20	3	-213.3	2	-152.7	1	-24.4	4	20	3	-112.5	1	-69.5	1	-108.7	1
23	4	-189.8	15	-125.6	6	-15.0	20	23	4	-97.9	9	-59.6	6	-95.3	4
4	21	-189.2	16	-121.9	10	-18.5	11	4	21	-83.9	21	-45.5	17	-61.2	23
13	22	-178.1	22	-111.8	18	-20.7	8	13	22	-83.8	22	-32.8	24	-57.9	24
12	23	-218.1	1	-129.9	4	-18.4	12	12	23	-88.9	16	-43.8	21	-66.2	21
8	24	-191.1	12	-106.5	21	-18.2	13	8	24	-79.4	24	43.0	22	-64.4	22

ID	lugar medido	tr-md b	lugar	tr-md P	lugar	tr-md s	lugar	ID	lugar medido	tr-md b	lugar	tr-md P	lugar	tr-md s	lugar
15	1	171.1	9	29.7	15	147.2	7	15	1	135.5	4	135.8	6	134	6
18	2	174.0	6	25.3	22	150.8	5	18	2	145.4	1	146.6	1	137.9	3
20	3	162.5	21	34.2	13	140.5	14	20	3	137.7	3	136.3	5	149.4	1
23	4	162.5	22	45.7	2	127.7	23	23	4	116.1	20	130	12	133.5	7
4	21	176.1	3	26	20	152.9	2	4	21	116.4	19	122.9	18	103.7	24
13	22	169.8	13	40.1	6	137.5	17	13	22	117.5	17	127.1	15	114.5	20
12	23	161.1	23	37.2	11	141	13	12	23	107.6	23	126.5	16	109.1	20
8	24	176.7	1	34.1	14	144.5	11	8	24	106.6	24	112.4	23	108	23

El manejo de los ángulos en imágenes, sumatorias y diferencias muestra que la proyección de la geometría en la vista frontal no refleja el desempeño de los individuos. Sin embargo, muestra las asimetrías de las posiciones del cuerpo, que serían el objetivo de otro trabajo. En cambio, en el caso de la vista sagital se muestra cuáles son las uniones articulares que definen las características del grado de flexibilidad, y los datos reflejan un comportamiento análogo al resultado de la aplicación de las pruebas. La variación en la suma y la diferencia en la amplitud, de todos los ángulos y de los más significativos, señalan que tanto la prueba en el banco como la de sentado en el piso podrían ser las indicadas. Considerando que en la del banco la fuerza de la gravedad “ayuda” al desempeño, se puede concluir que el ejercicio de sentado en el piso refleja un mayor ROM como prueba de flexibilidad general. Sin embargo, de los resultados mostrados en los cuadros se puede decir que los tres ejercicios no presentan diferencias significativas en el acercar la parte anterior del tronco a la anterior de los muslos.

Aun cuando los resultados obtenidos en este trabajo no estuvieron orientados a conocer qué individuos tienen mayor capacidad de flexión, porque ése no era el objetivo, resulta interesante saber que, al menos en la muestra analizada, la diferencia entre el desempeño de hombres y mujeres es marcada. Lo que sugiere hacer un trabajo de investigación orientado a conocer con toda intención la capacidad de flexibilidad entre hombres y mujeres, en diferentes grupos de edad y aplicando disintos pruebas.

El método prevé que el valor de la amplitud de los ángulos entre segmentos sea a partir de la localización de los puntos anatómicos que delimitan las líneas rectas que representan los segmentos corporales. En algunos casos esta localización puede ser imprecisa debido a la ropa que los individuos visten en el momento de ser grabados. Se puede solicitar a los participantes que vistan trajes de baño o ropa ajustada, pero no todos aceptan.

La diferencia en los resultados en el lugar u orden que los individuos ocupan en el cálculo de sumas y diferencias en la proyección sagital indica que, como se anota en la introducción, la flexibilidad depende no solamente del ROM de las uniones articulares, sino además de las cualidades elásticas de músculos, ligamentos y tendones. Entonces, probablemente las diferencias se deban a las cualidades elásticas

que en este estudio no se han incluido. Es decir, las distancias medidas en las evaluaciones no sólo dependen de la amplitud de los ángulos medidos, sino también de la capacidad de estiramiento en el momento de máxima flexión.

Existe, para cada unión articular, un rango de movimiento permitido por la estructura y biomecánicamente correcto. Sin embargo, no todos los individuos tienen la capacidad de desplazar los segmentos asociados dentro del rango posible, pero se puede mejorar la flexibilidad con un plan de entrenamiento adecuado.

Agradecimientos

La autora quiere agradecer a Luis y a Arturo Ramírez Ortiz, por su colaboración en el registro de los videos y la selección de las secuencias.

REFERENCIAS

CALAIS-GERMAIN, BLANDINE

1993 *Anatomy of movement*, Eastland Press, Seattle.

ESPINOSA, MATILDE

1993 *Implantación de un sistema computarizado para el análisis de los ejercicios físicos*, tesis de maestría en Ciencias de la Computación, UNAM.

GROSSER, M., S. STARISCHKA Y E. ZIMMERMANN

1988 *Principios del entrenamiento deportivo*, Ediciones Martínez Roca S.A., México, D.F.

HARRE, D.

1987 *Teoría del entrenamiento deportivo*, Editorial Stadium, Argentina.

HAY, J. G., J. G. REID

1988 *Anatomy, mechanics and human motion*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632.

KAPIT, W., M. E. LAWRENCE

1993 *The anatomy coloring book*, Harper Collins Publishers, EUA.

MANDEL, K., G. SCHNABEL

1987 *Teoría del movimiento*, Editorial Stadium, Argentina.

MARTIN, D., K. CARL Y L. KLAUS

2001 *Manual de metodología del entrenamiento deportivo*, Editorial Paidotribo, Barcelona, España.

MILLER, D. I. Y R. C. NELSON

1973 *Biomechanics of sport. A research approach*, Lea & Febiger, Philadelphia, EUA.

MOORE, K. L.

1993 *Anatomía con orientación clínica*, tercera edición, Williams & Wilkins, Editorial Médica Panamericana.

PLATONOV, N. Y M. M. BULATOVA

2001 *La preparación física*, Editorial Paidotribo, España.

ROBERTSON, D. G. E., G. E. CALDWELL, J. HAMILL, G. KAMENY S. N. WHITTLESEY

2004 *Research methods in biomechanics*, Human Kinetics, EUA.

RUIZ, L. M.

1994 *Desarrollo motor y actividades físicas*, Gymnos, S.A., Madrid, España.

ZATSIORSKI, V. M.

1989 *Metrología deportiva*, Editorial Planeta, Moscú.

