
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

MORFOLOGÍA FUNCIONAL Y BIOMECÁNICA DEPORTIVA



Sofía León Pérez
Santiago Calero Morales
Enrique Chávez Cevallos

CIENCIAS HUMANAS

MORFOLOGÍA FUNCIONAL Y BIOMECÁNICA DEPORTIVA

Sofía León Pérez
Santiago Calero Morales
Enrique Chávez Cevallos

Morfología funcional y biomecánica deportiva

Sofía León Pérez, Dra.; Santiago Calero Morales, Dr. y Enrique Chávez Cevallos, Dr.

Primera edición electrónica **revisada**. Diciembre de 2016

ISBN: 978-9978-301-23-4

Pares revisión científica:

Osmani Casabella Martínez; Abundio Eduardo Puentes.

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Grab. Roque Moreira Cedeño

Rector

Crnl. Ramiro Pazmiño

Vicerrector Académico General

Publicación autorizada por:

Comisión Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Edición y producción

David Andrade Aguirre

daa06@yahoo.es

Diseño

Pablo Zavala A.

Derechos reservados. Se prohíbe la reproducción de esta obra por cualquier medio impreso, reprográfico o electrónico.

El contenido, uso de fotografías, gráficos, cuadros, tablas y referencias es de **exclusiva responsabilidad** del autor.

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Av. General Rumiñahui s/n, Sangolquí, Ecuador.

www.espe.edu.ec

Los derechos de esta edición electrónica son de la **Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE**, para consulta de profesores y estudiantes de la universidad e investigadores en: www.repositorio.espe.edu.ec.

Agradecimiento

A la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) en Sangolquí, Quito, y al Programa Prometeo de la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (Senescyt) de la República del Ecuador.

Prólogo

En el transcurso de los últimos 100 años se ha observado el incremento incesante y sistemático de los fascinantes resultados y récords deportivos. En ese intervalo se han alternado fases de “explosión” con fases de “estancamiento” de los rendimientos deportivos. Se puede reconocer también que las etapas de estancamiento de los resultados en ambos sexos se hacen cada vez más cortas a consecuencia de la aplicación de modernos métodos de entrenamiento, la determinación de las características físicas modelo de los atletas más exitosos y la atención a los conocimientos biomecánicos, entre otros factores. Todo esto implica los avances de la ciencia y la técnica, incluyendo las tecnologías informáticas, la utilización de nuevos materiales y el diseño de equipos de entrenamiento y competencia más sofisticados.

A nivel mundial, numerosos investigadores de las ciencias básicas han dirigido su atención al mundo del ejercicio físico y deportivo. En el marco de proyectos multi e interdisciplinarios se desarrollan estudios sobre la dinámica de los componentes de la motricidad (fuerza, resistencia, rapidez, flexibilidad, coordinación del movimiento) y su participación proporcional en los rendimientos y marcas deportivas, tratando también de pronosticar las tendencias de su desarrollo futuro a partir de describir las más racionales técnicas de ejecución de los movimientos.

Una tarea esencial de la Biomedicina del Deporte consiste en generalizar y aplicar esos resultados investigativos en todas las esferas de la Cultura Física, no sólo del alto rendimiento deportivo, a la vez que transmitirlos al ámbito de la Salud Pública.

Es conocido que la capacidad funcional orgánica mostrará un incremento palpable con la práctica de la actividad motriz solo si ésta es sistemática, duradera y suficientemente intensa, de manera que se convierta en adecuadas exigencias psico-físicas según la edad y el sexo del practicante.

En los fundamentos de ese conjunto de conocimientos teóricos y evidencias en la praxis, se encuentran los procesos biológicos de adaptación estructural y funcional de los órganos y sistemas orgánicos, del organismo como integral bio-psico-social, con su específica dotación genética que, al asimilar las cargas

físicas de variable intensidad y duración, determinan el aumento de las capacidades funcionales y el alcance del rendimiento deportivo.

Los contenidos de este texto y de la asignatura a la que sirve de material de estudio, como parte de la Especialidad de Medicina del Deporte, contribuyen a fortalecer los fundamentos científicos del desempeño médico en el proceso de control del entrenamiento y preservación de la salud del deportista y sobre esa base, al más exacto pronóstico de sus rendimientos; así mismo se proyectan en su labor de promoción y recuperación de la salud en la población a través del efecto biológico y psicológico de la actividad física, que favorece la supresión de factores de riesgo de diversas enfermedades y la elevación de la capacidad de rendimiento físico y psíquico general para optimizar la calidad de vida.

Con el estudio de esta disciplina se aspira al logro de objetivos relacionados con la consolidación de la concepción científica del Especialista a través de la comprensión de los fundamentos teóricos del Deporte y la Cultura Física. También se intenta profundizar en el dominio de los conocimientos biológicos y metodológicos del médico, como basamento de su vínculo con el pedagogo deportivo, para ejercer sus funciones tanto en el control del entrenamiento y en la selección de talentos como en la prescripción y evaluación del efecto de la actividad física en la comunidad. Ampliar los intereses investigativos relacionados con la Especialidad es otro de los objetivos de la asignatura y de esta obra, al dar a conocer los métodos aplicados por la Morfología Funcional y la Biomecánica en las investigaciones sobre constitución corporal y sus modificaciones adaptativas, el análisis del movimiento y de la técnica deportiva.

El libro que se presenta constituye, en sus cuatro capítulos, una guía de trabajo de gran valor didáctico para el Especialista, por cuanto permite encaminar el estudio de cada tema hacia aquellos aspectos que resultan esenciales para cumplir los objetivos trazados, brindando asimismo referencias sobre otra bibliografía que puede ser revisada para profundizar los contenidos del programa y conocer resultados de investigaciones desarrolladas en este campo del saber.

El Capítulo 1 aborda cuestiones esenciales de los principios de la Biología que explican los cambios morfofuncionales característicos del sujeto

entrenado, valorando algunas modificaciones en el sistema locomotor y en otros órganos como respuesta adaptativa y compensatoria ante la ejercitación. Se introducen las bases de la Biomecánica, haciendo referencia a algunos de los métodos propios de las investigaciones en ambas disciplinas aplicadas al deporte y el ejercicio.

Las consideraciones sobre equilibrio bípedo, función de apoyo, así como el trabajo y control del sistema locomotor para lograr la armonía del movimiento en el deporte, reciben la mayor atención en el **Capítulo 2**, donde se enfila el estudio del cuerpo humano como sistema biomecánico y se tratan las consideraciones sobre la técnica deportiva desde el punto de vista biomecánico.

El Capítulo 3 ha sido desarrollado con amplitud, tratando aquellos tópicos relacionados con las bases morfo-biomecánicas de las capacidades motrices, en especial las diferencias dadas por el sexo y la edad de los practicantes de actividades físico-deportivas, así como referencias a la aplicación de estos conocimientos en el ámbito de la selección de talentos deportivos. También se abordarán aspectos relacionados con las particularidades de la motricidad según la constitución física, la edad y el sexo, así como sobre los principios generales de la aplicación de las cargas de entrenamiento y las recomendaciones metodológicas a considerar para la profilaxis de lesiones del sistema osteomioarticular.

Algunas reflexiones relacionadas con la actividad física, no ya en el marco competitivo, sino con el fin de mantener o recuperar la salud, se exponen en el Capítulo 4, desde un punto de vista morfofuncional, con énfasis en la importancia de desarrollar la fuerza y la flexibilidad, conjuntamente con las capacidades de resistencia, para lograr una buena “forma física” como uno de los pilares de la salud, en la más amplia acepción de ese término.

En su conjunto, los contenidos tratados en el presente material intentan proporcionar una base general orientadora para la ampliación del perfil en el ejercicio profesional del Deportólogo. A la vez, puede servir de fuente de consulta para Profesores de Educación Física, Licenciados en Cultura Física, Entrenadores y otros profesionales interesados en las Ciencias de la Cultura Física y el Deporte.

Esperamos, con este compendio, poder llenar cierto vacío en la sistematización teórica de las Ciencias Biomédicas del Deporte en nuestro país, que simultáneamente resulte en un enriquecedor intercambio de ideas, lo que sería de gran satisfacción y compensación a nuestro esfuerzo.

Los autores

Capítulo 1

Fundamentos del análisis morfológico

y biomecánico en el deporte

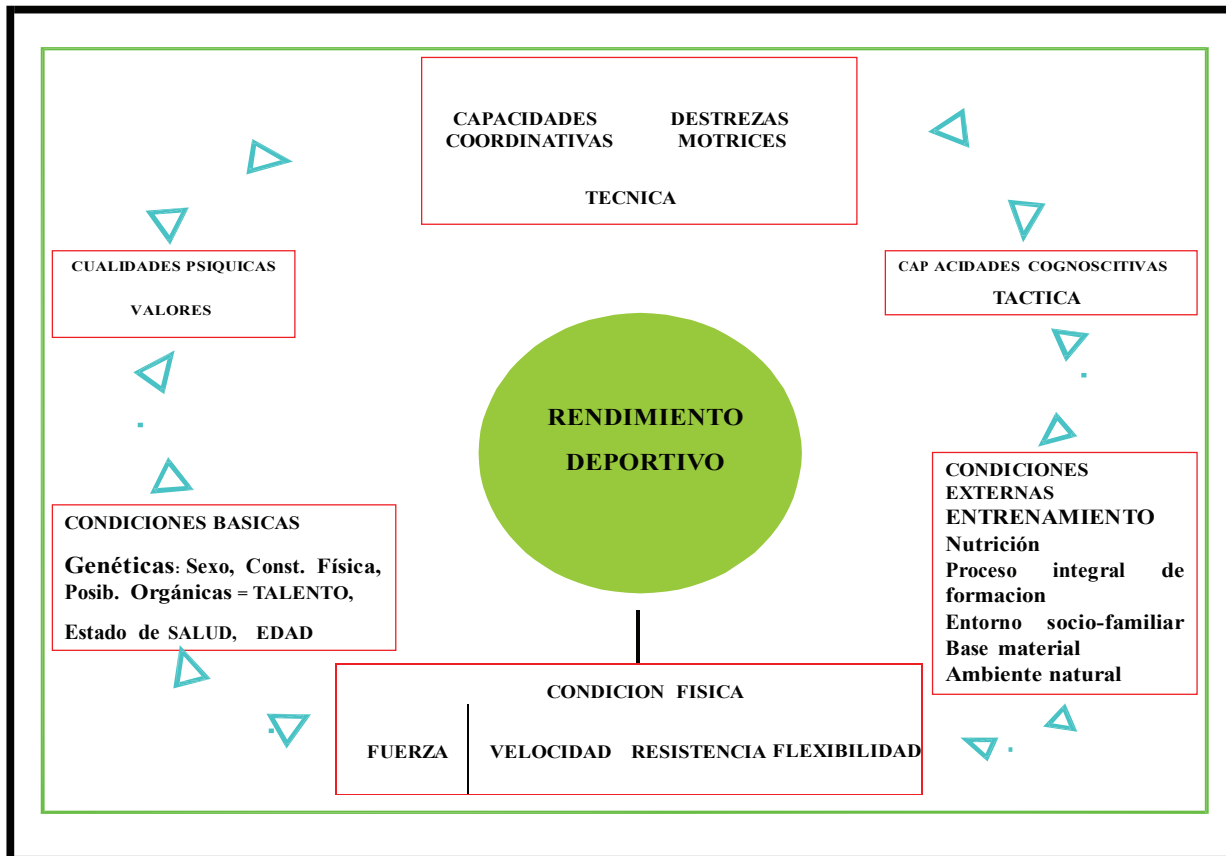
Introducción

El principio biológico de la adaptación del organismo a la variabilidad medioambiental y en particular a las cargas físicas que debe asimilar el atleta durante el transcurso del entrenamiento, justifica el estudio de la Morfología Funcional. Conocer las modificaciones morfo-patológicas que se originan ante la aplicación irracional de las cargas de entrenamiento provee al Especialista de valiosa información para prevenir las lesiones por sobreuso, ejercer el más adecuado control médico-deportivo y evitar el sobrentrenamiento.

La perspectiva del hombre como un sistema físico complejo y de la estructura armónica de sus movimientos, regidos por el sistema nervioso, se proyecta en el campo de la Biomecánica con el estudio de la cinemática y la cinética articular y de las posiciones y movimientos durante la ejecución de los ejercicios físicos y las técnicas deportivas. Ello requiere conocer las causas mecánicas y biológicas del movimiento y las particularidades individuales de la motricidad, con lo que se explican las razones de muchos traumas deportivos y se proveen las bases para su profilaxis.

En la civilización contemporánea del siglo XXI, el entrenamiento físico ha ido ganando en importancia para el mantenimiento, promoción y recuperación

de la capacidad de rendimiento y la salud de la población. La actividad física sistemática se cuenta entre los métodos más efectivos de la Medicina Preventiva y de Rehabilitación para numerosas enfermedades, en cuya etiología se describen el sedentarismo y el déficit de trabajo muscular, la malnutrición por exceso, el sobrepeso y otros factores de riesgo, llegándose a hablar de enfermedades por hipokinesia. El entrenamiento físico es, por tanto, un agente generador de bienestar psicosomático, de aumento de la capacidad de trabajo orgánico e intelectual; de salud, en la más amplia acepción de ese término y no por último, es la vía para el alcance del rendimiento deportivo, a partir de considerar éste como resultado multifactorial de numerosos eventos interactuantes, tanto de carácter individual, endógeno, como de origen exógeno o ambiental, de perfil natural como social.



Factores que influyen en el rendimiento deportivo (modificado de Romero, citado por León 2010)

Capacidad adaptativa como base biológica del entrenamiento.

Comprender las particularidades morfofuncionales y biomecánicas del atleta de alta calificación, como resultado de fenómenos adaptativos,

requiere el conocimiento previo de su evolución, su desarrollo ontogénico, la estructura anatómica y el funcionalismo del sistema humano en el hombre sano, así como las características del organismo de la mujer y los principios del proceso de crecimiento y desarrollo del niño y adolescente.

Con esas bases es posible abordar el estudio e investigación de las leyes y regularidades que rigen las variaciones de la forma corporal externa y las modificaciones de la estructura interna, anatómica e histológica del cuerpo humano, inseparables de su funcionamiento, bajo la influencia de la actividad físico-deportiva, y detectar las variaciones patológicas como resultado de una inconveniente planificación y realización del entrenamiento.

El principio de reacción del hombre, como sistema biológico, lo hace apto para responder -reaccionar- ante factores exógenos de diversa índole y asegurar la estabilidad del medio interno (homeostasis). Es este el mecanismo perfeccionado a lo largo de la evolución, que se lleva a cabo mediante la actividad sutil y coordinada de los distintos sistemas orgánicos bajo la regencia de los sistemas integradores-moduladores (sistemas nervioso y endocrino) que aseguran la regulación neuro-humoral. El conjunto de sucesos relacionados con la adaptación se describen como:

Adaptación genotípica (adaptación de la especie), que se manifiesta como capacidad adaptativa congénita, heredada de las líneas progenitoras materna y paterna.

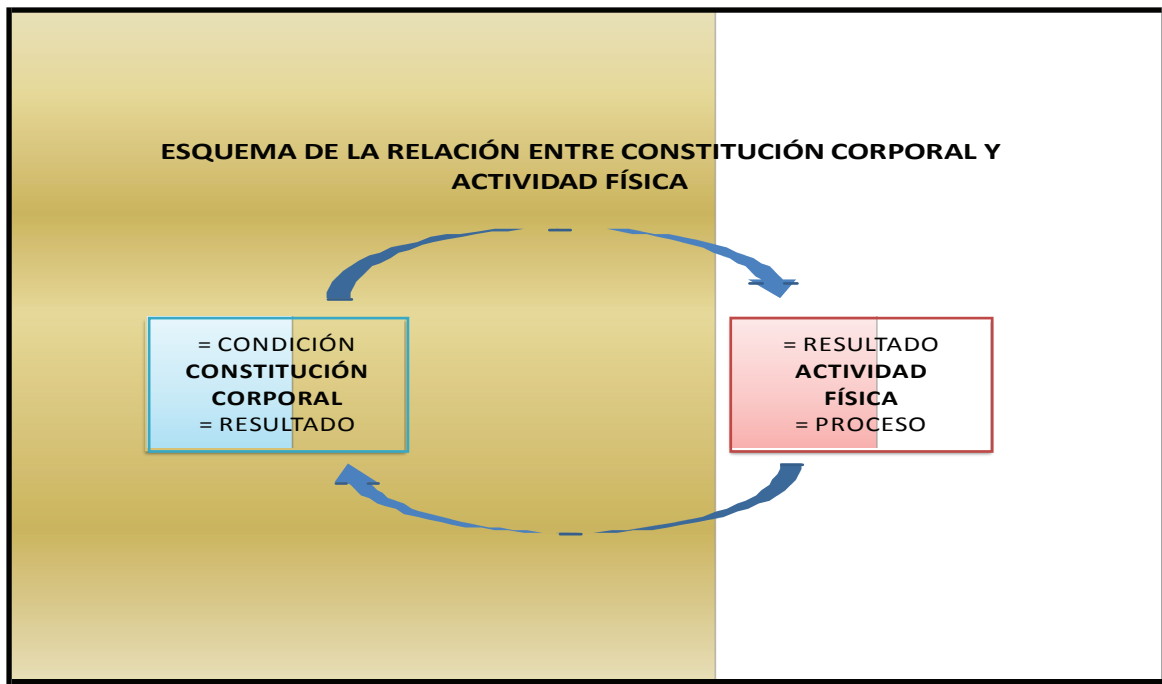
Adaptación fenotípica (adaptación individual), cuando el proceso adaptativos tiene lugar en el curso de la vida del individuo, a partir de su estructura genética, bajo la influencia de los factores del medio y con una norma de reacción eminentemente individual.

Es válido recordar que la materialización de la información genética contenida en el ADN, tanto en el núcleo como en las mitocondrias de las células (genotipo del individuo) ocurrirá bajo la influencia del medio ambiente y que esa interacción dará lugar a las propiedades fenotípicas, que en el caso del deporte, bajo la influencia del entrenamiento, permite hablar de "fenotipo del sujeto entrenado".

El concepto de adaptación se origina con los estudios de Roux, en el siglo XIX, que describió el perfeccionamiento de las funciones biológicas a través de modificaciones de las estructuras, y las nociones de hipertrofia

por actividad y atrofia por inactividad, como fundamentos de la unidad dialéctica entre estructura y función.

En el deporte, la adaptación se manifiesta en las modificaciones estructurales y funcionales ante la duradera y sistemática actividad física, a lo largo del proceso pedagógico, planificado y dirigido de aprendizaje y perfeccionamiento, que es el entrenamiento.



Cada objetivo en ese proceso debe implicar también la elevación de la capacidad general de adaptación y la adaptación particular de los órganos en cada sistema orgánico, de acuerdo a la edad y sexo del practicante. Ello ocurre cuando el organismo se somete a estímulos (cargas) de entrenamiento que superen su umbral fisiológico y provoquen la pérdida temporal de la homeostasis, con predominio del catabolismo. La reacción esperada es el aumento de los procesos anabólicos en búsqueda de recuperar el equilibrio homeostático.

Durante esa fase de recuperación, los sistemas orgánicos estimulados y el organismo, como integral biológica, no sólo alcanzan los niveles iniciales, sino que se capacitan para recibir y responder a nuevas y mayores cargas, en lo que se denomina supercompensación (hipercompensación, sobrerrecuperación). Los estímulos subsiguientes (cargas de entrenamiento)

han de recaer en esta fase para ampliar las capacidades funcionales y llevar a un estado de rendimiento superior.

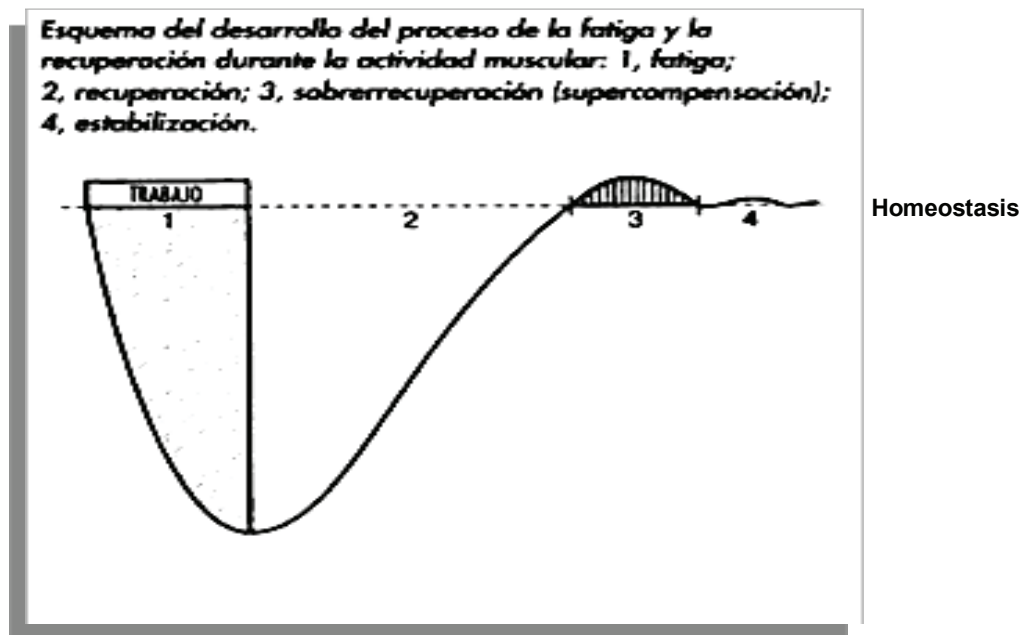
La fatiga se genera por el nivel de carga aplicada al deportista. La restauración de la capacidad de rendimiento, e incluso su aumento por encima del nivel inicial (nivel de pre-carga), se produce durante la fase de descanso post-carga cuando disminuyen los efectos sobre los procesos que deciden el rendimiento y se manifiestan los fenómenos de adaptación. Es el proceso que se produce como respuesta a la fatiga y está dirigido a la recuperación de la homeostasis y la capacidad de trabajo alteradas,

La recuperación después de las cargas físicas no solamente significa que las funciones del organismo retornen a su nivel inicial o cercano a éste. Si después del trabajo de entrenamiento el estado funcional del deportista retornara sólo al nivel inicial, desaparecería la posibilidad de su perfeccionamiento por medio del entrenamiento dirigido. (Gottschalk, 1996; Platonov, 2001; Walls, 2007 citados por León, 2010).

Todo proceso de entrenamiento, tanto para el deporte como para la promoción de salud, persigue que se produzca el fenómeno de la supercompensación, como se ilustra en el esquema adjunto, sobre las Fases de las modificaciones de la capacidad de rendimiento psico-física y disposición funcional para el rendimiento de los sistemas orgánicos ante estímulos de cargas físicas.

Esta reacción es individual y depende de diversos factores como son el sexo, la edad cronológica y biológica, el desarrollo físico, el estado nutricional, el estado de salud general, el nivel de entrenamiento, así como el tipo, intensidad y duración de las cargas físicas.

No obstante, es obligado hacer referencia a nuevos hallazgos científicos sobre las teorías de la adaptación al entrenamiento y la supercompensación (Martin, 2001) ya que diversos autores en la literatura médico- fisiológica muestran reservas al tratar la supercompensación, haciendo énfasis en que ésta solo sería demostrable si se establece la relación de las adaptaciones orgánicas específicas con las cargas de entrenamiento que las provocan y si los efectos del entrenamientos pueden describirse según su tendencia a lo largo del tiempo, considerando desde luego, las particularidades individuales.



(Tomado Gottschalk, 1996, citado por León, 2010)

Fases de las modificaciones de la capacidad de rendimiento psico física y disposición funcional para el rendimiento de los sistemas orgánicos ante estímulos de cargas físicas.

Fase 1: Variación funcional por debajo de los límites de la homeostasis; en dependencia de la carga física debe producir fatiga.

Fase 2: Recuperación, compensación de los parámetros alterados. Puede describirse una sub-fase temprana y una tardía de la recuperación.

Fase 3: Supercompensación (hipercompensación, sobrerrecuperación) Variación funcional por encima de los límites de la homeostasis.

Fase 4: Estabilización, retorno de las funciones orgánicas alteradas a los niveles de homeostasis, durante el tiempo que permanezcan sin recibir nuevas cargas físicas.

Así Verjoshanski y otros autores, citados por Martin (2001) plantean que los procesos de adaptación no pueden considerarse infinitamente prorrogables, ni a corto ni a largo plazo. Las investigaciones indican que tras repetidas adaptaciones a un nivel de rendimiento más alto y específico, disminuye constantemente el margen para seguir elevándolo; por lo que se puede concluir que el nivel global de las capacidades de adaptación del organismo tiene un límite genéticamente determinado.

Ante la influencia del ejercicio físico sistemático y como muestra de la interacción dialéctica entre estructura y función, se evidencian numerosas modificaciones adaptativas orgánicas, a partir de las bases genéticas de cada individuo, modificaciones que se irán instaurando con el decursar de años de entrenamiento, ya sea con fines competitivos, como de promoción de salud; como regla, se aprecian primero los cambios funcionales, con posterioridad las modificaciones estructurales a nivel macro, micro y ultramicroscópico. Es decir, los cambios morfológicos, cuyas fronteras entre lo “normal” y lo “patológico” aun permanecen, en muchos casos, en el campo de la especulación científica. Estas variaciones se describen tanto en órganos y sistemas, como en los tejidos, sus células y su composición molecular.

A continuación se hace referencia a algunos ejemplos de cambios estructurales que son objeto y/o resultado de estudios en el ámbito de la Morfología y de otras disciplinas vinculadas a la Medicina del Deporte y el Ejercicio, y están en dependencia del tipo de actividad física o entrenamiento individual. Sirva su mención para motivar el interés y espíritu investigativo entre los lectores. (Revisión bibliográfica de León, 2010).

Modificaciones adaptativas en el Sistema Locomotor

Tejido óseo y huesos

Adaptación estructural en dependencia del tipo de carga predominante (Compresión, tracción, torsión)

Hipertrofia de trabajo (engrosamiento de la cortical compacta diafisiaria)
Reforzamiento de procesos óseos (apófisis, espinas, bordes, rugosidades) que son puntos de inserción de ligamentos y tendones musculares; formación de osteofitos.

Reorganización de la sustancia esponjosa ósea y las trabéculas en las zonas de mayor carga en epífisis de huesos largos, cuerpos vertebrales, huesos del tarso y otros (líneas de fuerza).

Ampliación de la superficie de soporte en los cuerpos vertebrales dorsales y lumbares.

Aumento de la densidad mineral ósea en huesos sometidos a altas cargas. Equilibrio de los procesos de osteoclasia y regeneración: remodelado óseo constante, dinámico y variable en dependencia de la actividad física.

Cartílago hialino articular y cartílago fibroso

Aumenta el grosor del cartílago hialino ante ejercicios dinámicos para dar mayor capacidad de carga de compresión y amortiguación.

Ante cargas estáticas, disminución de su grosor y del número y tamaño de los condrocitos.

Activación de la síntesis de colágenos y proteoglicanos.

Modificación de la estructura fibrosa según dirección de cargas aplicadas en discos intervertebrales y meniscos.

Se amplía la capilarización en huesos y músculos, lo que provoca mejoría en la nutrición del cartílago y aumento del flujo del líquido sinovial.

Fascias y tendones musculares. (Transmisores de la fuerza muscular a las palancas ósea)

Hipertrofia de las fibras colágenas: aumenta grosor de los tendones. Modificación de la ultraestructura de las fibras tendinosas a nivel de inserción periostio-hueso: aumenta la capacidad de sujeción y tracción.

Cápsulas articulares y ligamentos. (Estabilizadores Articulares)

Modificación en la estructura fibrosa similar a lo señalado para los tendones. Aumenta la capacidad elástica que favorece la amplitud de movimientos.

Musculatura estriada esquelética

Hipertrofia de la masa muscular (aumento del sarcoplasma, las miofibrillas y las moléculas de actina y miosina).

Elevación de la fuerza muscular que depende, en gran medida del área del corte transversal del músculo (sección fisiológica muscular).

Incremento del número y tamaño de las mitocondrias en las fibras musculares

Ampliación de la vascularización del músculo, aumento de mioglobina

Variaciones morfológicas cardio-respiratorias por el ejercicio

Corazón y circulación

Aumenta el peso del corazón. Hipertrofia del miocardio

Modificaciones en el grosor de las paredes de las cavidades ventriculares

Incremento del volumen cardiaco

Aumenta la capilarización y colateralización coronaria

Mejora la elasticidad de los vasos coronarios

Aumenta la capilarización periférica en los distintos órganos y tejidos corporales

Tórax y órganos respiratorios

Modificaciones antropométricas: mayores diámetros antero-posterior y transversal del tórax

Hipertrofia de la musculatura ventilatoria

Mejores indicadores de capacidad vital

Mayor capacidad vital relativa en relación al peso corporal (más ml x kg)

Aumenta la superficie de intercambio gaseoso alveolar

Mejora la capilarización pulmonar

Cambios estructurales en glándulas endocrinas, otros órganos y tejidos

Hipertrofia de la hipófisis anterior, la corteza suprarrenal y la tiroides

Aumento del volumen y el peso del hígado

Incremento del tamaño del bazo

En la sangre se eleva el número de hematíes, de hemoglobina y el volumen circulante

Modificación de la composición corporal: disminuye la adiposidad y se eleva la masa corporal activa o masa magra, así como el Índice de Masa Corporal Activa o AKS¹

¹ Índice AKS : distribución de la masa magra respecto a la estatura del individuo (León Pérez, S. 2010)

Algunas de las modificaciones apuntadas son resultado de la experimentación en animales, no demostradas aun en las personas. Sin dudas, queda amplio campo aun a la investigación en las Ciencias Biomédicas para constatar el efecto de la ejercitación y el entrenamiento sobre el organismo. Esa representa una de las actuales premisas para continuar ampliando los límites del rendimiento humano, aplicando nuevos conocimientos y resultados investigativos al deporte elite y también a la actividad física para la promoción de salud y en la prescripción del ejercicio con fines terapéuticos y la rehabilitación; en atención a los requerimientos de cada sexo y de las distintas etapas de la ontogenia, hasta la tercera edad, donde se ha demostrado la efectividad del ejercicio para elevar la calidad de vida.

Biomecánica del sistema locomotor

La Biomecánica surgió como parte de la Biofísica y de ha desarrollado en relación con las ciencias físicas y biológicas en sus diversas aplicaciones. Su evolución histórica se remonta a Aristóteles (384 - 322 a.n.e.) Su libro "De motu animalium" es el primer tratado que se conoce sobre las partes del cuerpo, movimientos y desplazamientos de los animales. Durante el Renacimiento, Leonardo Da Vinci (1452-1559) presenta sus magistrales estudios e ilustraciones sobre la anatomía humana, la fuerza muscular, las proporciones corporales, la racionalidad del movimiento mecánico, el vuelo de las aves y las formas de locomoción animal.

Borelli (1608-1679) es considerado el "Padre de la Biomecánica Moderna" al relacionar las leyes de la mecánica con el movimiento humano y el efecto de las palancas, ubicar el centro de gravedad corporal y señalar las posturas más favorables. Sobre esas bases y con el desarrollo de la tecnología, en la actualidad esta disciplina ha logrado un lugar destacado entre las ciencias.

La Biomecánica estudia el movimiento mecánico de los seres vivos y en particular del ser humano, dedicándose a distintas ramas como son la Biomecánica Clínica, la Biomecánica Laboral y la Biomecánica del Deporte y el Ejercicio. Esta última, al exponer las particularidades del movimiento mecánico del hombre así como las características biomecánicas del cuerpo

humano y de sus movimientos como base del análisis de la técnica deportiva, también se proyecta en la prevención y rehabilitación del trauma deportivo y otras afecciones del sistema locomotor a la par que en el diseño de calzado, vestuario y equipamientos deportivos, entre otras tareas investigativas.

A manera de resumen, puede plantearse que la aplicación de la Biomecánica responde a objetivos específicos, de acuerdo a las distintas áreas:

En educación física: dictar principios que ayuden a comprender y ejecutar actividades y ejercicios habituales en las clases, dictar principios sobre la forma de evitar lesiones, describir las diferentes tareas y ejercicios, y aportar métodos de registro que contribuyan a medir diferentes características de la motricidad, según las edades de los alumnos.

En biomecánica ocupacional: estudio de la relación del hombre con la máquina, encaminado a conseguir un mayor rendimiento con menos lesiones y menor fatiga (Ergonomía)

En deporte de alta competición: descripción y análisis de la técnica deportiva, búsqueda de las técnicas más eficaces, profilaxis de las lesiones, desarrollo de los métodos de medida y registros, apoyo en la planificación y control del entrenamiento

En logística deportiva: desarrollo de nuevos materiales, diseño de nuevos aparatos y útiles deportivos, vestuario y calzado, para posibilitar prácticas más seguras, mejores marcas o la aparición de nuevos deportes.

En rehabilitación física: estudio de las alteraciones de la motricidad (por ejemplo trastornos en la marcha), construcción de máquinas, prótesis y aparatos de rehabilitación, elaboración de programas de rehabilitación, validación de test o pruebas de control y evaluación.

El objeto fundamental de la biomecánica deportiva es el estudio de las acciones motoras y de las particularidades de la estructura dinámica y espacio-temporal de las ejecuciones del deportista con el propósito de perfeccionar sus movimientos, lo que está en relación directa con la técnica deportiva que es una categoría de la Teoría del Entrenamiento Deportivo, la cual expresa el contenido y la forma en que se realizan las acciones motoras del atleta. El comportamiento de las características de los movimientos constituye un factor de principal importancia para el análisis biomecánico de la técnica deportiva.

Al estudiar una secuencia motriz establecida, probada como técnica deportiva, se describen aspectos cualitativos y cuantitativos. Estos últimos pueden agruparse en rasgos de la estructura motriz cinemática y cinética. Dichos rasgos cuantitativos equivalen a las características biomecánicas del cuerpo humano y de sus movimientos.

Los rasgos motores cualitativos se pueden observar directamente (amplitud, flujo, exactitud del movimiento). Los rasgos motores cuantitativos o características biomecánicas no son observables directamente y para su análisis son objeto de mediciones.

Entre las características cinemáticas se encuentran las características espaciales (longitud, desplazamiento, trayectoria), las características temporales (instante, duración, tempo, ritmo) y las características espacio-temporales (velocidad, aceleración).

Las características biomecánicas cinéticas o dinámicas, son las inerciales (inercia, masa, momento de inercia), las de fuerza (fuerza, momento de fuerza, torque) y las energéticas (trabajo, potencia, energía mecánica potencial y cinética;) En estos análisis del movimiento humano se manifiestan las Leyes de la Mecánica de Newton.

Cada movimiento y gesto deportivo puede explicarse de manera cualitativa y sobre todo, cuantitativa, desde el punto de vista de la Biomecánica.

En el cuadro que aparece en la página siguiente, se resumen las características cuantitativas y las caracterizaciones a considerar en un análisis biomecánico.

Especial atención requiere el análisis de las fuerzas, ya que las posiciones y movimientos humanos son el resultado de la acción combinada de las fuerzas externas e internas. Las fuerzas externas, expresan la acción del medio exterior; las fuerzas internas representan la fuerza de acción del hombre.

CARACTERÍSTICA	DENOMINACIÓN	SÍMBOLO	...SE MUEVE	CARACTERIZA	
C I N E M À T I C A S	DESPLAZAMIENTO	$\Delta S ; \Delta \theta$	¿HÁCIA DONDE?	LA FORMA DEL MOVIMIENTO	
	DURACIÓN	Δt	¿CUÁNDO?	EL CARÁCTER DEL MOVIMIENTO	
	TEMPO	$N = 1 / \Delta t$			
	RITMO	$R = \Delta t_1 / \Delta t_2$			
	VELOCIDAD	$V = \Delta S / \Delta t ; \omega = \Delta \theta / \Delta t$	¿CÓMO?		
	ACELERACIÓN	$a = \Delta V / \Delta t ; \alpha = \Delta \omega / \Delta t$			
PICK-UP	$\dot{a} = \Delta a / \Delta t$				
D I N À M I C A S	INERCIALES	MASA	m	EL MECANISMO DE MOVIMIENTO	
		MOMENTO DE INERCIA	$I = \Sigma MR^2$		¿QUÉ?
	DE FUERZA	FUERZA	$F = m a$		¿POR QUÉ?
		MOMENTO DE FUERZA	$M(F) = F d$		
		IMPULSO DE FUERZA	$J = F \Delta t$		
	ENERGÉTICAS	TRABAJO	$A = F \Delta S$		¿CON QUÉ?
POTENCIA		$P = A / \Delta t$			
ENERGÍA		$E = \frac{1}{2} m V^2 + mgh$			

Las fuerzas se agrupan en:

Fuerzas externas :

Fuerza de gravedad

Inercia de los cuerpos externos

Deformación elástica de los cuerpos externos

Reacción del apoyo o fuerza reactiva

Fricción por contacto

Acción del medio externo (resistencia del aire, empuje del agua, etc.)

Fuerzas internas:

Trabajo muscular.

Interacción pasiva de los tejidos y órganos.

Las fuerzas externas condicionan las particularidades del movimiento; la fuerza muscular (fuerza de acción del hombre) regulada por el sistema nervioso, asegura la ejecución correcta de los movimientos, respondiendo a la acción del medio.

Es importante esclarecer los términos “fuerza” y “momento de fuerza”. La fuerza es la medida de la acción mecánica de un cuerpo sobre otro, o sea, la interacción mecánica de dos cuerpos; se manifiesta en forma de “empujes” o de “tracciones” dando lugar a la fijación o la traslación del segmento corporal; numéricamente equivale al producto de la masa del cuerpo por la aceleración, provocada por esa acción mecánica.

El momento de fuerza o torque es la medida de la acción de rotación de una fuerza sobre un cuerpo. En el sistema locomotor, la tracción de cada músculo origina un momento de fuerza respecto al eje de la articulación. La magnitud del momento de fuerza es igual a la cantidad de fuerza multiplicada por la distancia entre el eje del movimiento articular y la línea de acción de la fuerza muscular. La no atención a este detalle en la ejecución de los movimientos puede ser fuente de lesiones en el deporte.

El análisis biomecánico del cuerpo humano se apoya en el principio de que, aunque extremadamente complejo, el sistema osteomioarticular está sujeto a las leyes de la Mecánica. (Nordin y Franke 1989). Confirmación de lo expuesto se encuentra en el capítulo “Mecánica Bioestructural” de Gutiérrez Dávila (2006).

Un acercamiento a la biomecánica del sistema locomotor debe considerar:

- Las particularidades biomecánicas de sus tejidos y estructuras
- Sus características cinemáticas y cinéticas
- La biomecánica de sus procesos patológicos
- Los aspectos biomecánicos de la Terapéutica y la Rehabilitación.

Algunas particularidades biomecánicas de los tejidos y órganos del sistema locomotor se exponen en los siguientes párrafos partiendo del siguiente cuadro:

Componentes	Elementos anatómicos	Función mecánica
Órganos osteoarticulares	Huesos Articulaciones	Palancas Bisagras
Partes blandas	Músculos Tendones Ligamentos Cápsula articular	Motores Cables Refuerzos Aislamiento

Las funciones mecánicas del hueso y el esqueleto son:

- Protección de órganos internos
- Aportar la armazón y soporte del organismo
- Determinar la forma y las dimensiones corporales
- Proporcionar palancas para los movimientos
- Proveer eslabones, pares y cadenas biocinemáticas
- Brindar puntos de inserción a los músculos
- Facilitar las acciones musculares para la postura y el movimiento corporal

Para desempeñar esas funciones el hueso posee propiedades estructurales y mecánicas únicas. Se encuentra entre las estructuras biológicas de más dureza; es uno de los tejidos más dinámicos y de mayor intercambio metabólico, que permanece activo durante toda la vida; es altamente vascularizado y con excelente capacidad para la autoreparación (remodelado óseo), cambiando sus propiedades, configuración y densidad en respuesta a las demandas mecánicas que recibe.

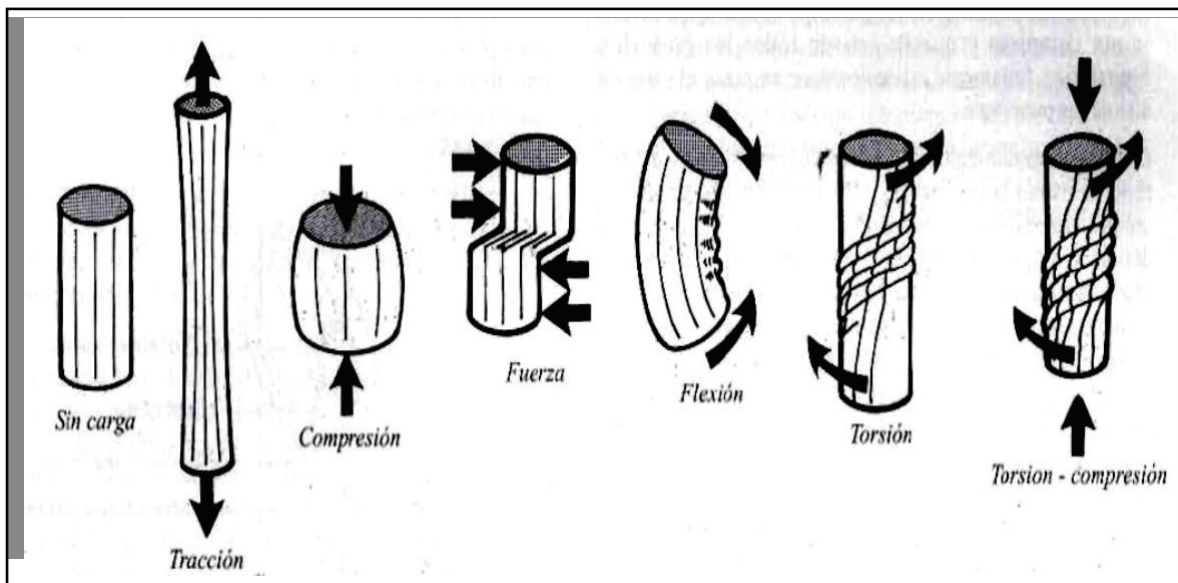
Esta respuesta ante la incidencia de fuerzas y momentos de fuerza, estará en relación con sus propiedades mecánicas y sus características geométricas, así como con la magnitud, la frecuencia y el modo de aplicación de las fuerzas que tienden a deformar el hueso, las que producen determinada resistencia a la deformación física, denominada tensión o estrés mecánico:

Estrés de tracción, cuando las fuerzas de cohesión intermolecular o fuerzas internas de la materia se resisten a la elongación, tracción o alargamiento de un cuerpo.

Estrés de compresión, cuando esas fuerzas internas se resisten al empuje, prensado o aplastamiento de un cuerpo.

Estrés de cizalladura, cuando esas fuerzas internas se resisten al deslizamiento de unas capas sobre otras, en forma transversal, diagonal o sesgada.

Se considera que estos son los tres tipos de estrés mecánicos básicos, debido a que cualquier carga física aplicada a un cuerpo puede asimilarse por una combinación de éstos, como de ilustra en el esquema de las diferentes fuerzas que pueden incidir sobre un hueso.



Representación esquemática de de las fuerzas que tienden a deformar al hueso y producen tensión o estrés mecánico. (Tomado de Ahonen, 2001)

Así, la fractura ósea puede producirse a consecuencia de una fuerza única, que exceda la capacidad de soporte de carga del hueso, o debido a la aplicación repetida de fuerzas de baja magnitud, en la llamada fractura por fatiga (stress fracture), que se presenta ya sea por pocas repeticiones de una alta carga o por muchas repeticiones de cargas relativamente normales.

En cargas repetitivas, el proceso de fatiga ósea es producido no solo por la magnitud de las fuerzas y el número de repeticiones, sino también por la cantidad de aplicaciones en un tiempo dado (frecuencia). Debido a que el hueso es autoreparable, ocurrirá fractura si el proceso de remodelado es sobrepasado por el proceso de fatiga, es decir, cuando la carga es tan

frecuente que supera el tiempo de remodelado necesario para la prevención de microrupturas en el tejido. Las modificaciones en la estructura del hueso dadas por la edad, las diferencias sexuales y alteraciones en la regulación hormonal traen aparejados cambios en su respuesta mecánica lo que requiere consideración al programar actividades físicas y deportivas para los distintos grupos poblacionales.

La función mecánica del cartílago hialino articular en las relaciones diartrodiales es ampliar el área de distribución de las cargas y proveer una superficie de apoyo pulida, uniforme y resistente al desgaste por fricción, con posibilidad de autolubricación que opera bajo condiciones fisiológicas de carga. La sustancia lubricante tiene dos fuentes, la secreción sinovial y el propio tejido condral. La presencia de ese fluido tiene, además, efecto amortiguador de las cargas incidentes. Por todo ello, una lubricación insuficiente puede ser factor primario en la etiología de las condroartrosis, unido a la limitada capacidad de reparación de esta estructura, que por su capacidad mecánica puede soportar bien las cargas de compresión y cierta torsión, pero es deficiente ante las cargas sostenidas de rozamiento y deslizamiento. Por su parte, el cartílago fibroso, presente en los discos intervertebrales y meniscos, posee haces de fibras colágenas de disposición entrecruzada que le confieren las propiedades mecánicas de un resorte amortiguador que alterna energía potencial y energía cinética en respuesta a las fuerzas que recibe.

Tendones y ligamentos están profusamente compuestos por fibras colágenas, cuya estabilidad mecánica les confiere su resistencia y elasticidad características. En el tendón, la disposición de las fibras colágenas es prácticamente paralela, habilitándolo para resistir altas cargas unidireccionales, como las de los tirones musculares sobre el hueso, a través del tendón. La disposición no paralela de la colágena en los ligamentos les permite admitir tensiones fuertes en una dirección predominante y otras menores en distintas direcciones. Una característica biomecánica de los tendones y ligamentos es la visco-elasticidad, que varía según las cargas que reciban; estas estructuras incrementan su resistencia y rigidez con el aumento proporcional de las cargas. En la inserción del ligamento o el tendón al hueso se pueden apreciar graduales cambios estructurales, modificándose

su proporción fibrosa hacia un predominio óseo, lo que atenúa el efecto concentrado de la tracción.

Las características biomecánicas del músculo estriado esquelético serán tratadas con amplitud en el Capítulo 3, a propósito de su relación con las capacidades de fuerza en el deporte.

Al estudiar la biomecánica de las distintas articulaciones del esqueleto, como base para el análisis de la estructura del movimiento en el deporte, se hace referencia a la cinemática articular y a la cinética articular, donde “cinemática” se refiere a la descripción del movimiento articular sin considerar fuerzas ni masas, describe los rangos de movimiento en cada plano y eje articular con grados angulares. La “cinética” se refiere al estudio de las fuerzas y momentos de fuerza que actúan sobre la articulación e incluye tanto los análisis estáticos como los dinámicos:

Un análisis estático describe las fuerzas y momentos actuantes sobre un cuerpo en equilibrio, que es el estado de un cuerpo en reposo relativo o en movimiento a velocidad constante; para considerar a un cuerpo en equilibrio, tanto la suma de las fuerzas como de los momentos de fuerza debe ser igual a cero. El análisis dinámico describe las fuerzas y momentos actuantes sobre un cuerpo en movimiento, ya sea éste de aceleración o desaceleración.

En el análisis cinético se determina la magnitud de las fuerzas lineales y de los momentos de fuerza (rotacionales) que actúan sobre la articulación y que son producidos por la tracción muscular, la resistencia de los tejidos y las fuerzas externas en cualquier situación, sea estática o dinámica, para identificar aquellas en que se provocan excesivas fuerzas que pueden modificar la técnica del movimiento o ser causa de lesiones.

Por tanto, es de gran importancia recordar aspectos anatómicos generales sobre las articulaciones diartrodiales, como son ejes y planos de los movimientos, clasificación de las articulaciones y formas de las superficies articulares de columna vertebral, hombro, codo, muñeca, cadera, rodilla y tobillo, lo que será propicio para profundizar en análisis biomecánicos más específicos, como son la cinética y cinemática articular para su aplicación al ámbito de la Medicina del Deporte, combinando para ello métodos de investigación, aplicados habitualmente en la Morfología Funcional y la Biomecánica.

Investigaciones en Morfología Funcional y Biomecánica



Mediciones antropométricas (Tomadas de Garrido Chamorro, 2005 y León 2010))

Para obtener esos conocimientos y responder a numerosas cuestiones que se plantean en el campo investigativo de estas disciplinas científicas, se aplican diversos procedimientos, pruebas y técnicas de medición y evaluación, entre los que destacan los relacionados con la Cineantropometría, rama científica que se define como medición del hombre en movimiento y se dedica al estudio de la forma, composición, maduración, tamaño y proporciones corporales, incursiona en los análisis del crecimiento y desarrollo, la cultura física, la performance y la nutrición (Ross & Marfell-Jones, citados por León 2010) aplicando la técnica de la antropometría, que se ilustran en las figuras superiores.

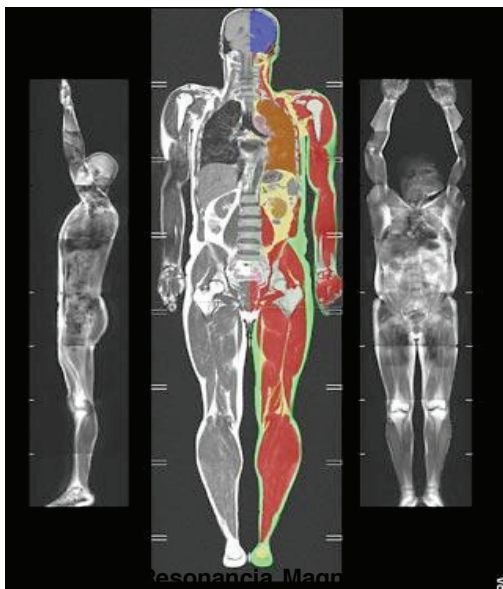
Entre otros métodos aplicados en las investigaciones morfológicas y biomecánicas está también la plantografía, como parte del análisis de la función de apoyo:



Plantografía, Podogramas (Tomado de Hdez. Corvo 2010)

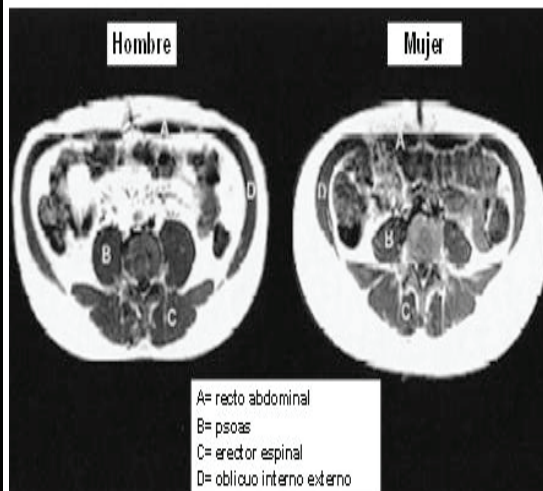


Entre las distintas modalidades de la Imagenología, La Resonancia Magnética Nuclear permite la absorción de ondas electromagnéticas por núcleos atómicos (alineación de núcleos en el campo magnético) y el análisis del grado de hidratación de los tejidos y valora relación entre grasa subcutánea e interna, entre otras informaciones, a través de una imagen.



Hdez. Corvo 2010)

Perímetros: corte transversal



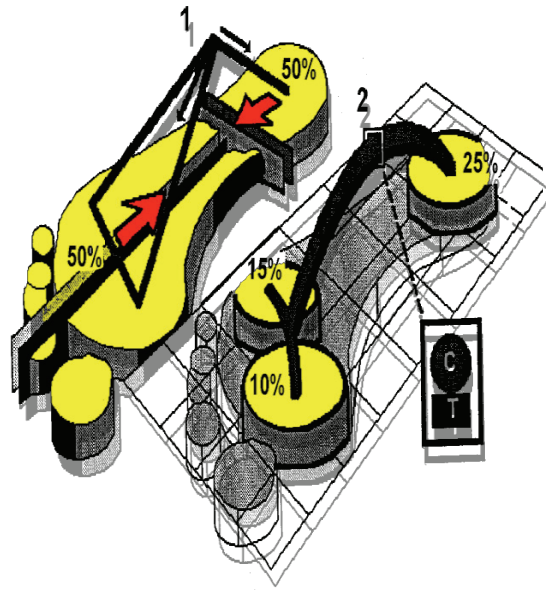
y Tomografía Axial Computarizada (Tomado de

Por su parte, la Tomografía Axial Computarizada (TAC) permite obtener cortes axiales del sujeto en planos seleccionados, se pueden aislar y estimar las áreas de los diferentes tejidos en cada corte axial.

También encuentran aplicación la tensometría, la estabilometría, la goniometría, las pruebas funcionales musculares o técnicas de balance muscular, la electromiografía, la dinamometría isocinética, que se ilustra en la siguiente figura:



El advenimiento de los sistemas isocinéticos brinda la posibilidad de que un grupo muscular pueda ser ejercitado en su máxima potencia en todo un arco de movimiento con seguridad. Usados como método de diagnóstico, estos sistemas permiten cuantificar la cantidad de fuerza generada por el grupo muscular durante este tipo de ejercicio en cada punto del arco de movimiento ejecutado.



Valoración de la distribución del peso corporal y oscilaciones de la proyección del centro de gravedad mediante plataformas tensiométricas. (Hernández Corvo, 2010)

Una gran fuente de información la constituyen los registros dinamográficos y tensiométricos, con plataformas para la medición de las presiones y la distribución de peso, el registro fílmico y de video para estudio de movimientos y técnicas deportivas, así como la modelación y simulación computarizada del movimiento, como se aprecia en las siguientes fotografías.



Además, la ergometría como conjunto de técnicas y procederes cuantitativos de medición de la capacidad de trabajo del hombre, se encuentra entre otros elementos contenidos en la metrología deportiva, de aplicación en la investigación biomecánica.



Ejemplos de pruebas motoras en la evaluación de la fuerza de miembros inferiores utilizando alfombrillas tensiométricas. (Test de Bosco, citado por Leon 2011)



DISEÑO DE LOS EJERCICIOS



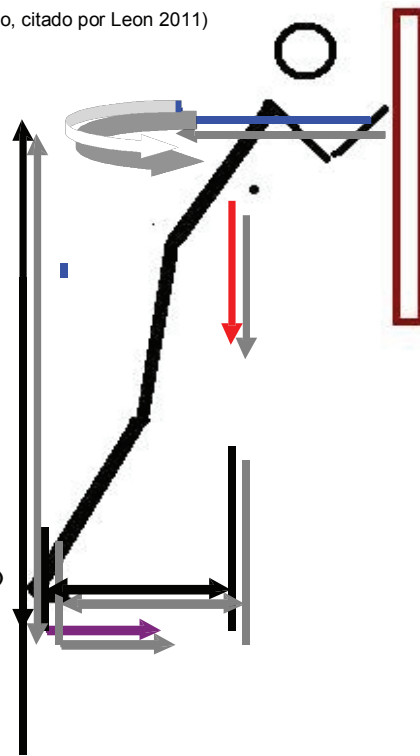
Despegue desde plancha con contramovimiento (DPCCM) (Despegue con ayuda de un CEA.)
(procesos neuromusculares y propiedades viscoelásticas)



Despegue desde plancha después de caer (DPDC) (Despegue con activación mecánica alta en el CEA.)
(estructuras, miogénica y neurogénica)

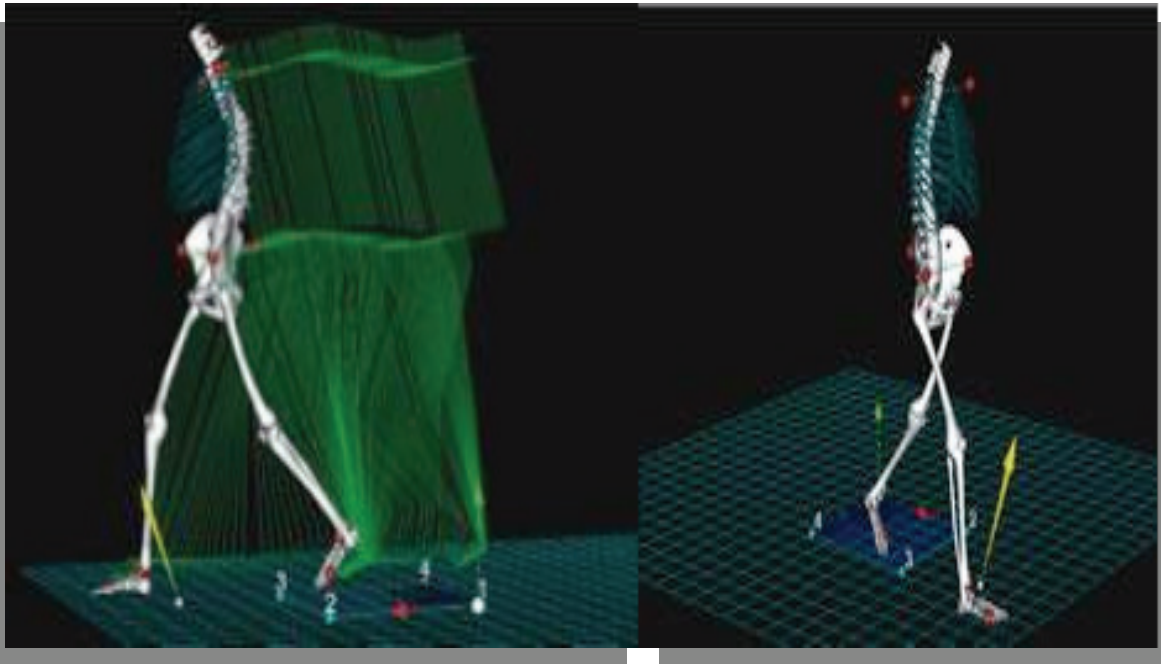


Despegue desde plancha sin contramovimiento (DPSCM) (Despegue mediante contracción voluntaria del músculo.)
(elementos contráctiles)



Test de Zelma para evaluar las capacidades elástica y reactiva en las extremidades superiores, utilizando alfombrillas tensiométricas. (Quetglas 2012)

La videografía computarizada se reserva para los sistemas de análisis del movimiento a partir de imágenes de video que permiten digitalizar las coordenadas de puntos notables seleccionados en el cuerpo y realizar cálculos de la traslación, velocidad y aceleración de los distintos segmentos corporales, de los ángulos articulares y del centro de gravedad a cada instante del movimiento. Ejemplo de ello es la ilustración presentada a continuación, aplicando la metodología para analizar la marcha en estados patológicos.

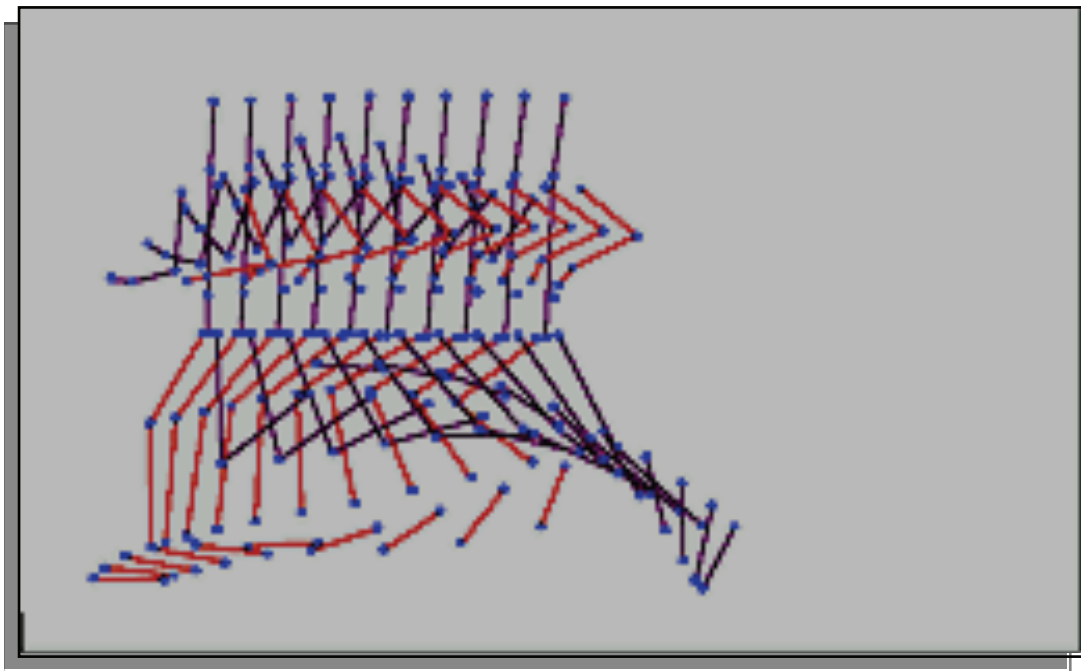


(Tomado de Becerra: Rehabilitación y Biomecánica, citado por Leon 2011)

Para utilizar esta técnica se colocan sensores pasivos en las articulaciones, cuyos movimientos son interpretados mediante complejos algoritmos de procesamiento en una computadora; en este despliegue se pueden apreciar con mayor detalle la progresión de la locomoción desde distintos planos. Mediante estos sistemas óptico-electrónicos, es posible evaluar la marcha del paciente y llegar a reeducar su marcha a través de sistemas bio-retroalimentados con la realidad virtual. Igualmente son aplicables para el análisis de los movimientos del deportista y su valoración técnica.

De modo similar se obtienen gráficas como la siguiente, con un moderno equipo para el análisis del movimiento humano, especialmente aplicable

al análisis de la marcha humana. Este equipo es capaz de representar un modelo biomecánico del sujeto en tres dimensiones, a partir de las imágenes de video de alta resolución obtenidas por tres ó más cámaras de filmación que puede realizarse tanto en el exterior (pruebas de campo) como en el laboratorio de Biomecánica. La frecuencia de imágenes de la filmación en video es de 50 Herz. La digitalización se realiza por medio de potentes programas diseñados al efecto.

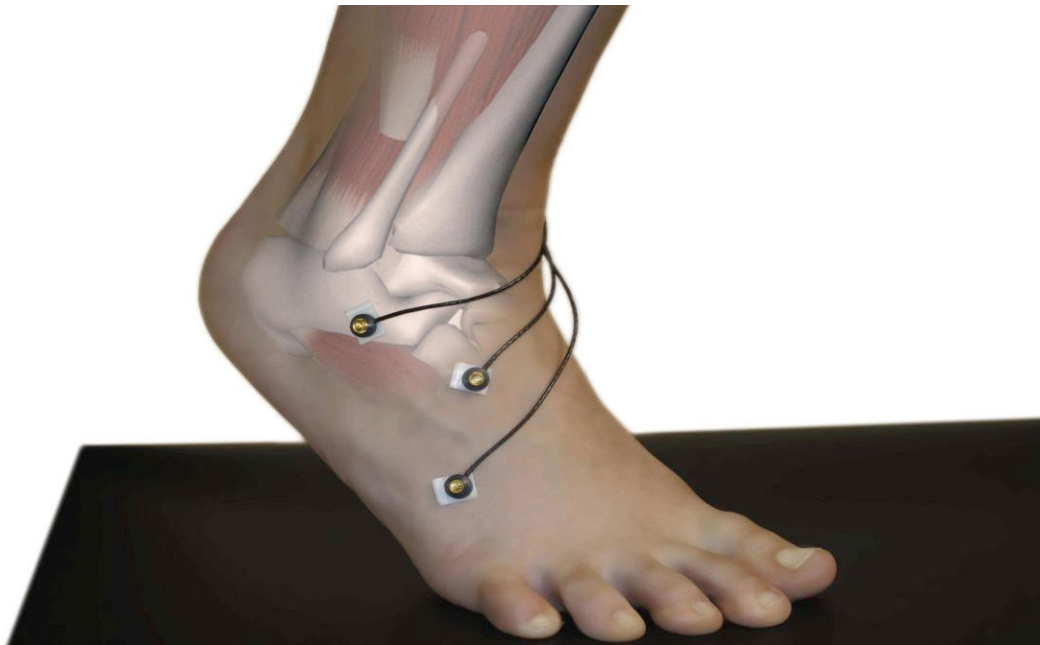


(Tomado de MORGENSTERN, citado por Leon 2011)

Se reconstruye el movimiento por medio de un modelo biomecánico y se analizan los parámetros siguientes:

- Longitud del paso
- Frecuencia del paso
- Evolución angular de cadera, rodilla y tobillo
- Trayectoria del centro de gravedad instantáneo
- Desplazamiento vertical y transversal del centro de gravedad.

Otros paquetes de programas de análisis de movimiento en la Biomecánica son los preparados por la empresa Lukotronic que permiten diversas variantes como las siguientes:



(Tomado de www.lukotronic.com, citado por León 2011)

Conectividad del sistema para el uso modelos biomecánicos:

- a. Registro de movimientos en tiempo real con hasta 48 marcadores activos
- b. Interpolación automática de curvas de movimiento respaldan los marcadores
- c. Exportación de datos en formatos especiales para realizar análisis adicionales
- d. Interfase que permite conectividad a software biomecánico externo
- e. El software de operación cuenta con Análisis biomecánicos integrados
- f. Integración de plataformas de fuerza para el registro de fuerzas de reacción del piso

Utilización de los sistemas de medición

1. Datos de movimientos de personas son registrados en tiempo real para realizar con ellos diferentes análisis biomecánicos.
2. Patrones de movimientos de personas se analizan con el software o se analizan con rutinas de programas, que el usuario puede desarrollar para diferentes parámetros biomecánicos.

3. Datos de movimientos disponibles en interfases especiales para modelos biomecánicos de software para exportarlos y analizar e interpretarlos según el objetivo buscado.

Los análisis biomecánicos de la técnica del movimiento coadyuvan al logro de la maestría deportiva; a su vez, los métodos de investigación morfológica y biomecánica en general, respaldan la indagación sobre la constitución física y los indicadores de la motricidad de los deportistas según el sexo y la edad para evaluar el desarrollo alcanzado y obtener elementos objetivos aplicables a la selección de “talentos” en cada deporte y para ejercer el control biomédico del entrenamiento. Otras posibilidades de aplicación de estos métodos se encuentran en el ámbito de la promoción de salud y la prescripción de ejercicio como medio profiláctico y terapéutico.

En la aplicación de esta ciencia es trascendente considerar las características cineantropométricas y anatómicas personales (longitud de las palancas, distribución y composición de la masa corporal, ubicación del centro de gravedad), ya que existirá una solución particular al reflexionar sobre los factores interactuantes en la ejecución de cada movimiento por cada sujeto; de ahí que el control de la técnica debe basarse en un análisis individualizado teniendo en cuenta las peculiaridades de cada deportista.

Una relevante oportunidad para extender las investigaciones biomecánicas en el deporte de alta maestría se materializa durante las competencias de nivel olímpico y mundial, con la utilización de alta tecnología para registrar la actuación de los más destacados deportistas. Así por ejemplo, durante el Campeonato Mundial de Atletismo, en Berlín 2009, se desarrolló un proyecto de investigación biomecánica que incluyó el análisis detallado de las finales de todas las pruebas de carreras de velocidad y vallas en ambos sexos (Graubner y Nixdorf, 2011). Se realizaron grabaciones en el estadio utilizando 15 videocámaras en determinadas posiciones y en movimiento, sincronizadas a la señal de arrancada, para obtener los tiempos parciales de las carreras, en tramos de 20 m y otros parámetros, como tiempo de reacción en la salida, longitud y frecuencia de las zancadas y técnica de ejecución por fases del movimiento. Mediante sistemas de rayos láser, en la carrera final de 100 m se siguió la traslación de un punto en la región lumbar de cada atleta para conseguir la medición de la velocidad continua a lo largo de la

distancia, así como los cambios en la velocidad intracíclica y la velocidad máxima en el momento y distancia precisa en que fue alcanzada. El análisis de esta cuantiosa información permite, entre otras cosas, explicar desde el punto de vista biomecánico, los sorprendentes resultados de los recordistas mundiales en esos eventos.

En los párrafos anteriores se ha realizado un acercamiento a las bases de la Biomecánica. En los siguientes acápites se pondrá de manifiesto la aplicación de los conocimientos biomecánicos en los distintos análisis morfofuncionales ya que, como puede suponerse de lo expresado hasta aquí, existen estrechas interrelaciones entre estas disciplinas biológicas: la Morfología Funcional y la Biomecánica, sobre todo en lo que ambas pueden aportar a la mayor fundamentación científica de la Cultura Física y en particular del Deporte.

Equilibrio bípedo y función de apoyo

Los estudios de la estructura del movimiento del deportista y de las modificaciones morfofuncionales derivadas del efecto del entrenamiento tienen como premisa el reconocer al hombre como un sistema físico complejo, resultante del decursar evolutivo de la especie (filogenia) y del desarrollo individual (ontogenia). Las características de la sustentación y la locomoción humana responden a la constante influencia de la fuerza de gravedad conjuntamente con otras fuerzas externas y las fuerzas internas, esencialmente, la tracción muscular.

En relación con lo anterior, es imprescindible destacar la importancia del sistema nervioso como integrador y regulador del movimiento y en especial en el control espacial-postural, el equilibrio y la locomoción, por lo que la Biomecánica estudia aspectos relativos a la conservación y variación de la posición del cuerpo, sus condiciones de estabilidad y las características de la postura. El enfrentamiento ambiental definitivo a partir del nacimiento, condiciona cambios gravitatorios y oscilatorios en el sistema corporal, los que Hernández Corvo (2010) llama cambios adaptativos sustentantes.

La marcha bípeda, equilibrada y estable se alcanza después de complejos procesos en los que deben considerarse el desarrollo de la columna vertebral y de los miembros inferiores, como primordiales componentes de

la función de apoyo. Una fase importante, previa al dominio de la marcha, en la ontogenia, es el gateo.

Del gateo a la verticalidad humana, con la cuadrupedia como tránsito a la verticalización, se describen cambios adaptativos vertebrales que determinarán la conformación de las curvaturas en el plano sagital, cifosis y lordosis, las que confieren a la columna vertebral mayor capacidad de carga ante la acción de la gravedad. Las formas de gateo, típico y atípico, facilitan el asentamiento de las curvaturas vertebrales.

Las extremidades inferiores representan factores de la conducta bípeda del hombre, de su estabilidad mayor o menor, incidiendo en ello el incremento dispar en sus longitudes o las llamadas “disimetrías”; las rodillas, con las rótulas o patelas, constituyen elementos de considerable análisis en cuanto a la estabilidad general de un sujeto y deben ser motivo de estudio para la determinación de alteraciones en los pies, las caderas o en las curvaturas de columna vertebral (Hernández Corvo, 2010).

La simple visión de las rodillas de un sujeto puede dar de manera inequívoca información sobre alteraciones funcionales en sus extremidades inferiores y por tanto del resto de su sistema locomotor. El marcado desarrollo de los músculos vastos medial y lateral en forma unilateral, es indicador de esas modificaciones.

Serán motivo de estudio también las particularidades de los apoyos plantares; sus alteraciones generalmente están asociadas a las diferencias funcionales en las extremidades inferiores. Las formas de clasificación de las huellas o impresiones del apoyo plantar, pueden identificar las particularidades de cada pie o del conjunto de las extremidades inferiores. Las modificaciones en las formas del apoyo condicionan también cambios y alteraciones en las extremidades inferiores de un sujeto y en su eje vertebral.

Es bueno señalar que las disimetrías pueden ser analizadas o estimadas no solo para las extremidades inferiores; también son aplicables a las extremidades superiores; evidentemente en una cuantía menor, pero pueden estar presentes. El estudio del alcance mano-digital suele demostrar este detalle. Todos estos enfoques morfo- biomecánicos responden al análisis de la función de apoyo.

La función de apoyo sobrepasa los límites del simple apoyo de los pies, abarca todas las estructuras que sostienen y propulsan el sistema corporal humano en su conjunto, llegando a la consideración de las oscilaciones que describe el cuerpo cuando se encuentra en posición bípeda, y a la relación entre la masa corporal y la gravedad existente. Al mismo tiempo, su análisis conoce de los cambios adaptativos del aparato locomotor, en particular lo relativo a los pies y al mecanismo cupular que conforman sus estructuras.

Aplicaciones de los estudios de la función de apoyo

- Detección de talentos deportivos,
- Medicina deportiva,
- Medicina física y rehabilitación,
- Ortopedia y traumatología pre y post cirugía,
- Neurología y neuropediatría
- Programas y controles generales de actividades física

La Función de Apoyo puede ser estudiada a través de:

- Clínica observacional
- Impresiones plantares
- Valoraciones radiológicas
- Estudios estabilográficos
- Filmaciones de marcha
- Electromiografía

Entre los métodos de investigación para estudiar la función de apoyo, aplicando la observación, puede hacerse referencia a la Clínica Observacional, que permite analizar qué puede o ha podido modificar los contornos del soma de un sujeto; establecer las razones y derivar las posibles medidas que solucionen en todo o en parte la disfunción o presunta alteración funcional a partir de establecer cierto equilibrio o proporción entre los distintos segmentos corporales y considerar el centro de gravedad corporal total y de cada segmento, todo lo que se obtiene aplicando técnicas antropométricas y biomecánicas de medición que apoyan la observación; por ejemplo, se ha estudiado el peso relativo de cada segmento, con relación al peso corporal total, como se refleja en la tabla adjunta publicada por Donskoi (1988)

PARTE DEL CUERPO	Según FISCHER	Según BERNSHTEIN		Datos redondeados %
		hombre	mujer	
Cabeza	0,0706	0,0672	0,0812	7
Tronco	0,4270	0,4630	0,4390	43
Muslo	0,1158	0,1221	0,1289	12
Pierna	0,0527	0,0465	0,0438	5
Pie	0,0179	0,0146	0,0120	2
Brazo	0,0336	0,0265	0,0260	3
Antebrazo	0,0228	0,0182	0,0182	2
Mano	0,0084	0,0070	0,0055	1
Todo el cuerpo	1,0000	1,0000	1,0000	100

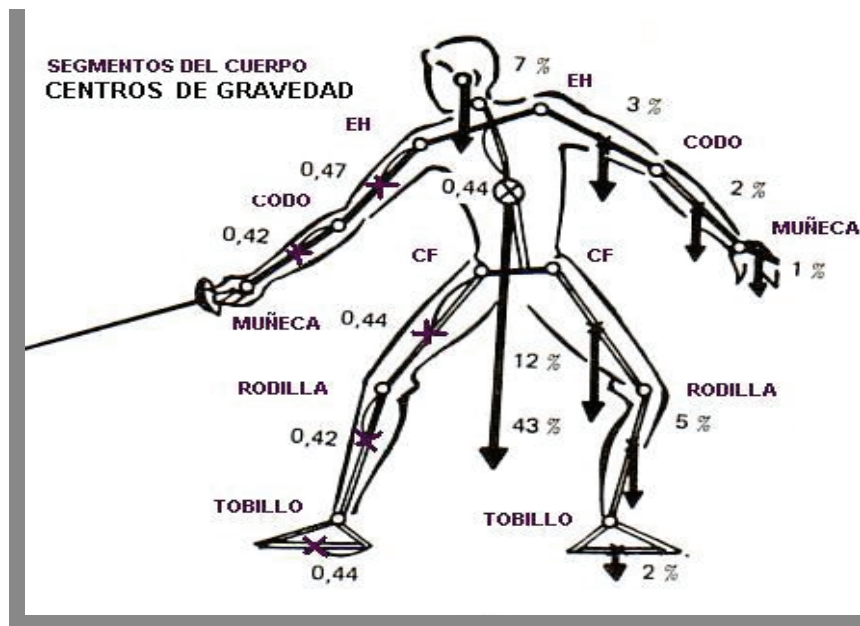
Pesos relativos de los segmentos corporales (Tomado de Donskoi, 1988)

Evidentemente el peso del tronco y sus valores relativos en hombres y mujeres, representa el 43%; al sumar el peso relativo de la cabeza, se comprueba que el peso total del segmento suma el 50%, lo que representa que el bloque central del tronco junto con la cabeza equivale a la mitad del sistema.

Con esta forma de entender las proporciones, se encuentran dos medidas que determinan las potencialidades generales de un sujeto. La estatura o talla total, que representará la primera de las potencialidades y la segunda, la altura de la columna vertebral o longitud funcional de la columna. Estas dos potencialidades mantendrán una relación dentro del conjunto de proporciones de los segmentos corporales. Si el 50% del peso corporal y aproximadamente ese mismo valor se corresponde con la longitud relativa del tronco y la cabeza (talla sentada), puede afirmarse que estas proporciones varían dependiendo del valor angular de las curvaturas vertebrales del sujeto, sobre todo, en las diferentes etapas de la vida.

El **centro de gravedad del cuerpo (CGC)** representa el punto de aplicación de las resultantes de las fuerzas de gravedad de todos los segmentos. Este punto (CGC) durante la posición bípeda, erecta, está situado en la zona pélvica, por delante del sacro. Es imprescindible conocer la situación del CGC para la determinación de las condiciones mecánicas de equilibrio bajo la acción de la gravedad lo que varía en dependencia de

diversos factores como son las dimensiones, proporciones y constitución corporal, en especial el peso y la talla total y de cada segmento; el sexo, la edad y la influencia del entrenamiento. También se describen los centros de gravedad de cada segmento, que caracterizan la distribución relativa de las masas entre ellos, Cada segmento corporal posee su propio centro de masa y centro de gravedad (C.G.) y el sistema en conjunto conserva el centro de gravedad del cuerpo (C.G.C.). La localización del C.G. de cada segmento y del C.G.C., depende de las formas integradas del movimiento y del control postural del sujeto.



(Tomado de Donskoi, 1988)

Los centros de gravedad de cada segmento corporal se establecen de acuerdo a las distancias que se tomen a partir de las relaciones articulares proximales y en dependencia del volumen muscular del segmento en cuestión, como se ilustra en el presente gráfico de Donskoi (1988) y en el cuadro adjunto resumido por el propio autor.

PESOS RELATIVOS Y DISPOSICIÓN DE LOS CENTROS DE GRAVEDAD DE LOS MIEMBROS DEL CUERPO		
Segmento	Peso relativo (en %)	Posición del CG del segmento
Cabeza	7	Sobre el límite superior del conducto auditivo externo
Tronco	43	Sobre la recta que pasa por el centro de la línea, que une las articulaciones coxofemorales y humerales, a una distancia de 0',44 a partir del eje de los hombros
Brazo	3	A una distancia de 0,47 a partir de la articulación próximal
Antebrazo	2	A una distancia de 0,42 a partir de la articulación próximal
Mano	1	Articulación metacarpo falángica del tercer dedo
Muslo	12	A una distancia de 0,44 a partir del eje de la articulación próximal
Pierna	5	A una distancia de 0,42 a partir del eje de la articulación próximal
Pie	2	Sobre la línea entre el calcáneo y el segundo dedo, a una distancia de 0,44 a partir del talón

(Tomado de Donskoi, 1988)

Precisando estos conceptos, también puede decirse que el centro de gravedad es el punto donde se considera concentrada la masa del cuerpo, en la intersección de los tres planos: sagital, frontal y horizontal. En el hombre está a la altura aproximadamente del 60 % de la estatura, en posición anatómica, y va variando cuando se realiza un movimiento a partir de dicha posición.

El centro de gravedad en posición bípeda, anatómica, se proyecta entre ambos pies, en la parte anterior de estos; por esa razón el cuerpo tiende a caer hacia adelante. Para evitar que el cuerpo caiga, un grupo de músculos, entre ellos los gastrocnemios o gemelos, cuádriceps, glúteos y los paravertebrales, se contraen de forma isométrica, manteniendo el tono muscular, por esta razón a estos músculos se les denomina “anti gravitatorios”.

En cuanto a la **base de sustentación**, es el plano que circunscribe a las partes del cuerpo en contacto con la superficie de apoyo, es decir está determinada por el área de apoyo; así se define que un cuerpo está en equilibrio cuando la proyección de su centro de gravedad cae dentro de la base de sustentación. Por el contrario, cuando esta línea de proyección del CGC cae afuera, el cuerpo pierde el equilibrio.

Para esclarecer más el concepto de equilibrio se expresa que es el estado de un cuerpo en reposo o en movimiento a velocidad constante. Un cuerpo está en equilibrio cuando sobre su centro de gravedad está aplicada una fuerza igual y opuesta a su peso y la suma de las fuerzas como de los momentos de fuerza sea igual a cero.

El equilibrio define el estado de un cuerpo o sistema cuando la resultante de las fuerzas que actúan sobre él es nula. El equilibrio puede ser: estable, inestable o indiferente.

El equilibrio es estable si el cuerpo, siendo apartado de su posición de equilibrio, vuelve al lugar que antes tenía, por efecto de la gravedad. En este caso el centro de gravedad está debajo del punto de suspensión. Ejemplo: Un gimnasta colgado de la barra fija.

El equilibrio es inestable si el cuerpo, siendo apartado de su posición de equilibrio, se aleja por efecto de la gravedad. En este caso el centro de gravedad está más arriba del punto o eje de suspensión. Ejemplo: Un gimnasta en parada de manos.

El equilibrio es indiferente si el cuerpo siendo movido, queda en equilibrio en cualquier posición. En este caso el centro de gravedad coincide con el punto de suspensión. Ejemplo: Una rueda en su eje.

La velocidad del movimiento esta estrechamente ligada con los requerimientos de equilibrio. Por Ej. Es más fácil mantener el equilibrio en una bicicleta mientras está en movimiento que cuando está detenida.

En relación con la estabilidad de un cuerpo, en la práctica se comprueba que: A mayor base de sustentación, mayor estabilidad.

Cuanto más bajo está el centro de gravedad, mayor estabilidad.

Cuanto más cerca del centro de la base de sustentación caiga la línea de gravedad, mayor estabilidad.

Otra posibilidad de estudiar la función de apoyo y sus modificaciones, además de la Clínica Observacional, se encuentra el análisis de las impresiones plantares.

Las impresiones plantares recogen la huella dejada por el pie durante su apoyo en una superficie (Plantograma o podograma) y, a los efectos investigativos de la Morfología Funcional, reflejan las particularidades de las formas y hábitos del apoyo plantar y de la sustentación del sujeto; sus

características individuales tienen relación con las actividades habituales y en particular con la práctica físico- deportiva. En su valoración se tienen en cuenta criterios de investigadores, como son

“... Cualquier deficiencia o desalineamiento en un segmento del complejo postural produce disfunción o deformación en el pie...” (D`Amico, citado por Hdez. Corvo, 2010)

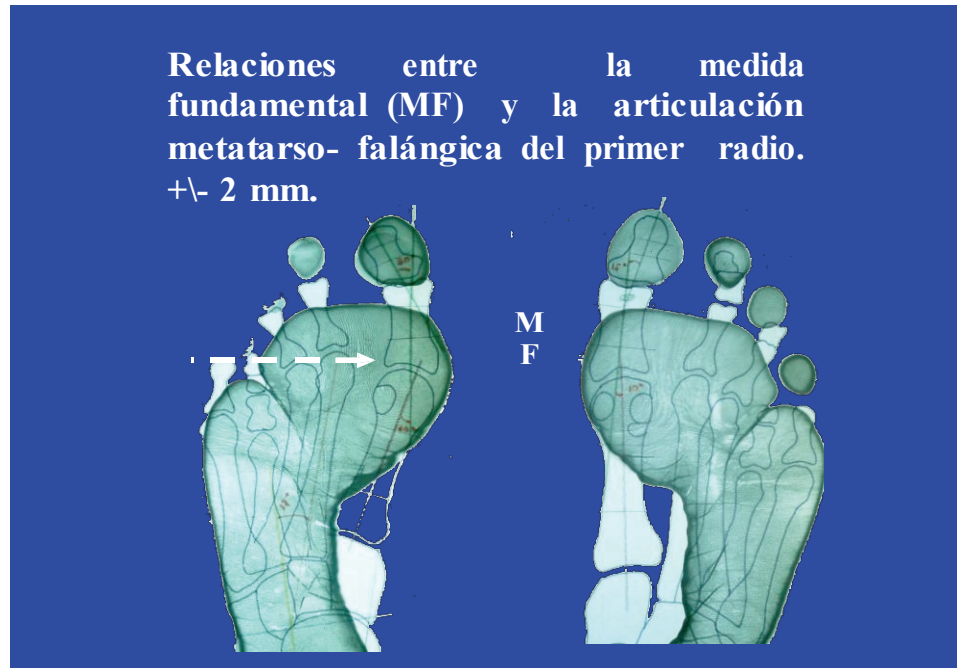
“... Las alteraciones en la mecánica normal del pie resultan como influencias negativas en las funciones normales del tobillo, la rodilla, la cadera, incluso, de la columna vertebral...” (Kato, citado por Hdez. Corvo, 2010)

Las impresiones plantares son fáciles de tomar y económicas. No requieren tecnología sofisticada ni necesitan personal altamente especializado. Su evaluación refleja el carácter evolutivo partiendo de la adaptación funcional del primer dedo, según la metodología propuesta por Hernández. Corvo (1989), asimismo señalan el carácter dinámico del pie.

La técnica más frecuente para registrar la impresión plantar es por entintado de las plantas de los pies, donde los contornos quedan bien definidos y pueden apreciarse las zonas de mayor y menor presión durante el apoyo, como se aprecia en los siguientes gráficos, tomados de Hdez. Corvo (2010)



(Tomado de Hernández. Corvo, 2010)

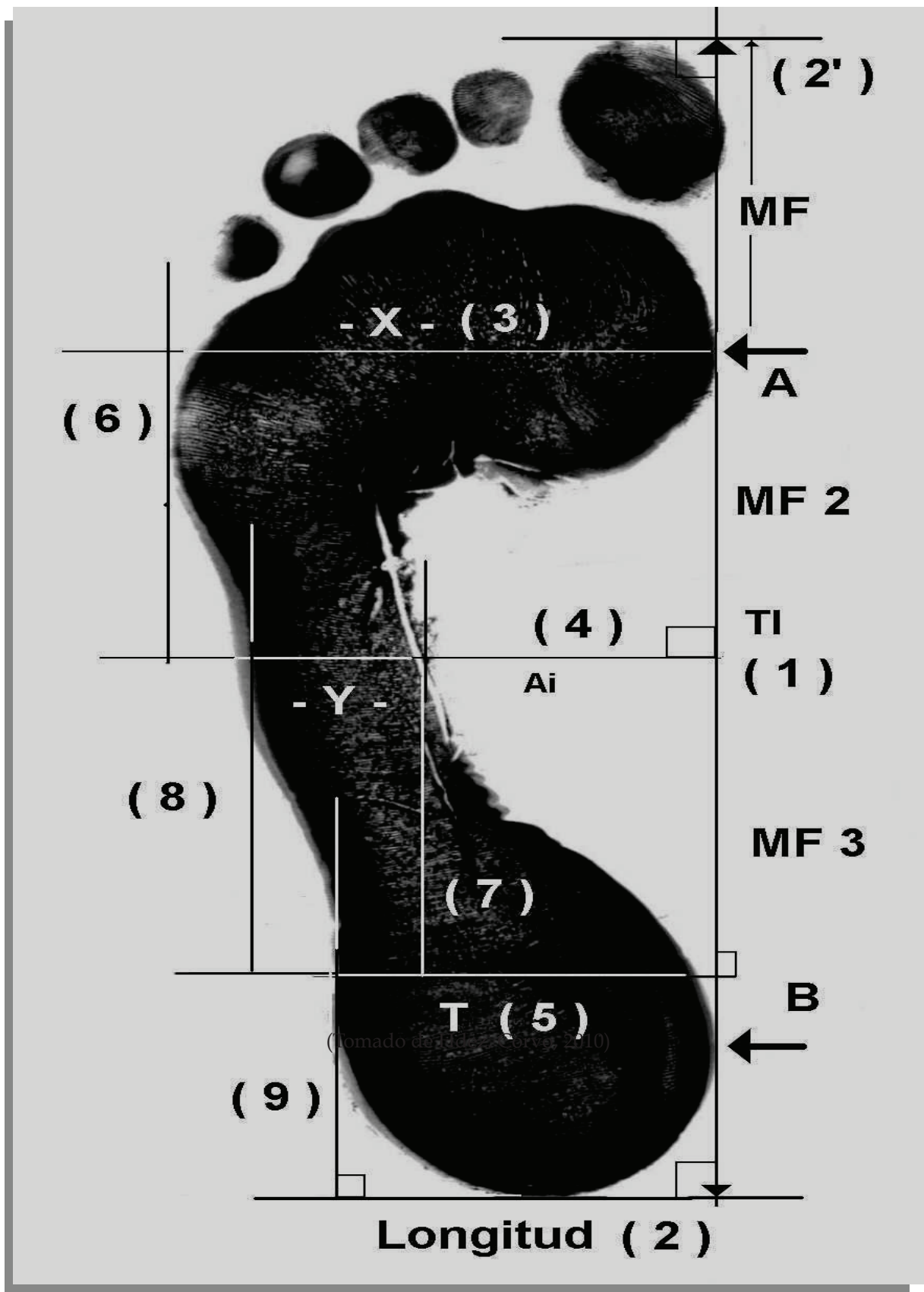


(Tomado de Hdez. Corvo, 2010)

Trazado en la impresión plantar

A continuación se muestran los trazos que deben realizarse sobre la impresión plantar y el orden a seguir en ese trazado. Obsérvese que todos los trazos se realizan mediante líneas perpendiculares entre sí, es decir, formando ángulo de 90° (Hdez. Corvo, 1999 y 2000)

1. Trazo inicial (TI)
2. Línea inferior (2)
3. Línea superior (2')
4. Línea 3, MF, define valor de X,
5. Línea MF 2,
6. Línea MF 3,
7. Línea 6 perpendicular a 4, intercepta a 3,
8. Línea 7 perpendicular a 5, intercepta a 4, define Ai (arco interno: espacio no entintado)
9. Línea 8 perpendicular a 5, intercepta a 4, tangente con la impresión, define región Y,
10. Línea 9 perpendicular a 2, intercepta a 5, tangente con la impresión; define T (ancho del talón)



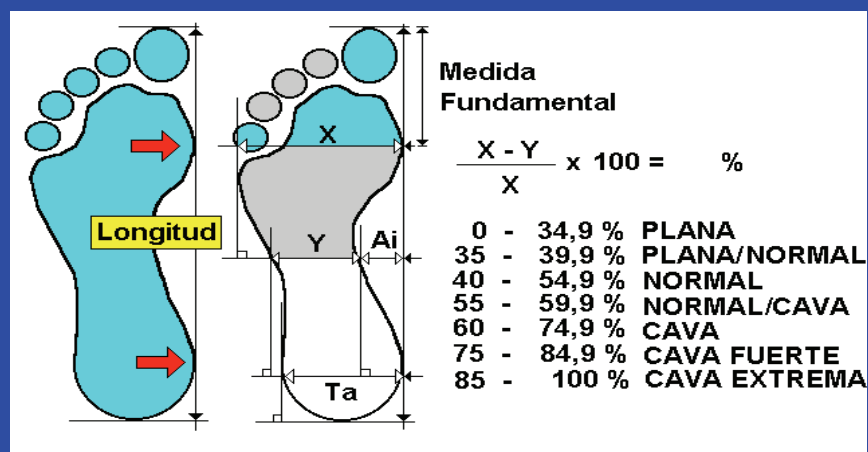
Si sobre TI cabe el valor de MF completamente cuatro veces, entonces se determina la media entre la MF 3 y la MF 4, trazando la perpendicular a TI. Se traza la línea 9, perpendicular a 2, interceptando tangencialmente la media de las MF planteadas y ese será el ancho del talón (T).

La clasificación que se expone en los siguientes gráficos, refleja el carácter adaptativo y dinámico del pie, así como las diferencias entre la descripción teórica y la dinámica real de la función de apoyo.

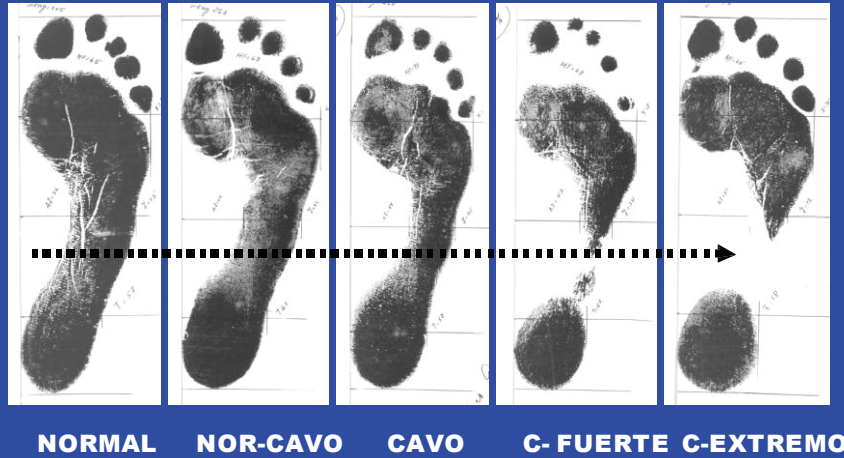
El centro evaluativo de las impresiones lo determina la adaptación funcional del primer dedo (MF)

En los gráficos que se muestran a continuación, tomados de Hernández Corvo (2010), se observan los segmentos de líneas que se miden (Longitud total del pie, ancho del talón, Ai, X, Y), así como la fórmula aplicada y la clasificación de las impresiones. Todas las medidas sobre el Plantograma se registran en milímetros; la clasificación se expresa en valores porcentuales.

Fórmula y clasificación

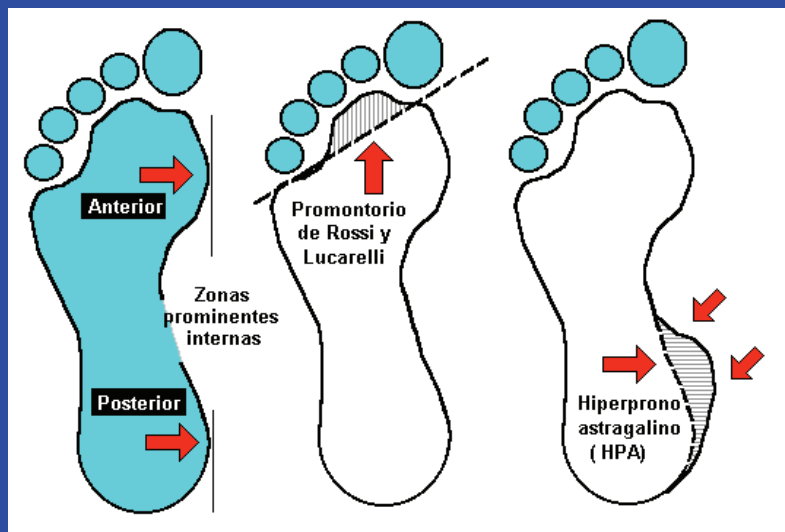


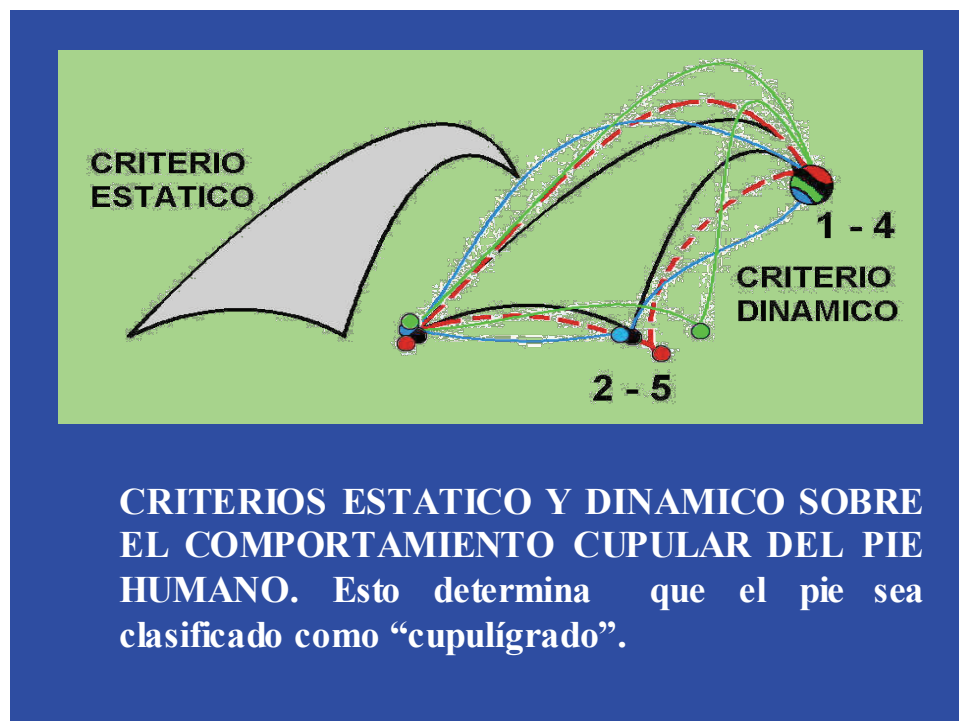
FORMAS DE APOYOS BASICOS...Tendencias hacia... IMPRESIONES CAVAS...



(Tomado de Hdez. Corvo, 2010)

Contornos a identificar. Síntomas de modificaciones en la distribución de cargas



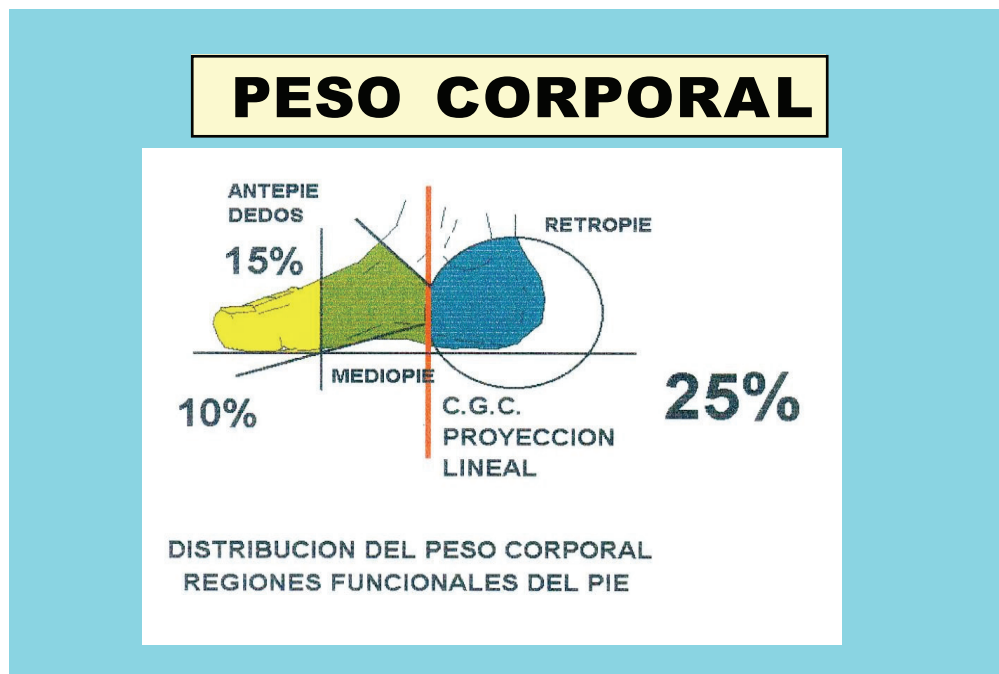


(Tomado de Hdez. Corvo, 2010)

Las impresiones plantares reflejan las reacciones del pie ante las cargas debido a la sustentación, soporte de pesos y locomoción del individuo. Su huella plantar es parte de la función de apoyo. Su evaluación puede contribuir a la prevención, tratamiento y rehabilitación de lesiones y deformidades, así como a la selección de talentos y al control biomédico del deportista.

Otra vertiente de las investigaciones morfo-biomecánicas en el deporte se basan en análisis estabilográficos, a partir de la afirmación de que la verticalidad y las oscilaciones corporales son resultado de la adaptación evolutiva, pertenecen a la filogenia de los sistemas biológicos, lo que se refleja en el desarrollo individual. Toda esa línea de trabajo investigativo responde al término Estabilografía, que se refiere a:

- El estudio integral de las condiciones de equilibrio, del dominio y control postural-espacial del sistema humano.
- Forma parte de las metodologías para el estudio de la función de apoyo.
- Trata el análisis del peso corporal, de su distribución y soporte, interactivamente con los integrantes del aparato locomotor.
- Comprueba y analiza los resultados de programas de actividades físicas en general.



Tomado de Hernández Corvo, 2000)

Esta tecnología brinda informaciones que permiten valorar:

La evolución de las oscilaciones corporales ante la influencia gravitacional

El desarrollo del sistema vestibular

La conformación del mecanismo cupular del pie

La organización funcional de las extremidades inferiores

La consolidación progresiva de las articulaciones de la cadera y de la columna vertebral;

Todo ello relacionado con la constitución física, la distribución del peso corporal, la edad, el sexo así como con hábitos de vida (sedentarismo o actividad físico- deportiva)

El esquema superior muestra la distribución teórica del peso corporal sobre cada pie, que varía individualmente, lo que se analiza a través de la Estabilografía, mediante el registro de valoraciones de la distribución de cargas, presiones e impulsos, por vía computarizada, tanto en la posición de pie, relativamente estática, como durante la marcha y en situaciones propias de un deporte, o en condiciones patológicas.

Cuando el cuerpo está en reposo, de pie sobre el apoyo, la fuerza de gravedad lo presiona hacia la superficie de apoyo. Esta acción del cuerpo

sobre el apoyo se mide por el peso del cuerpo; por ello se define que el peso corporal estático es la medida de la acción del cuerpo en reposo sobre el apoyo. La fuerza de gravedad y el peso del cuerpo no son una misma fuerza: la fuerza de gravedad es una fuerza a distancia, mientras que el peso es una fuerza de contacto; así, en las fases de vuelo, en carreras y saltos, no hay peso. Ese es un ejemplo de imponderabilidad (Donskoi, 1988)

Hacer referencia a la función de apoyo en general y al apoyo plantar en particular no puede separarse del examen del calzado, ya que su uso es un atributo humano y muy relacionado con las actividades físico-deportivas, en la mayoría de las cuales estará presente, con sus especificidades. Puede afirmarse que el calzado es el elemento más importante de todos los que conforman el equipo o vestuario del practicante por lo que su elección requiere gran esmero y no debe limitarse solo a su aspecto externo, a los dictados de la moda o de la propaganda. Son numerosos los análisis anatómicos y biomecánicos relacionados con el diseño del calzado deportivo, en la búsqueda de protección, comodidad, profilaxis de lesiones y ascenso de los rendimientos competitivos. Entre los factores relativos al diseño y confección del calzado más apropiado para realizar las diversas actividades físicas se encuentran:

- Suela
 - Adherencia y tracción.
 - Resistente y flexible.
 - Aislante de frío y agua.
 - Material seleccionado conforme a uso específico.
 - Aditamentos para mejorar interacción con la superficie (pinchos, spike, tacos)
- Entresuela
 - Sector de absorción de impactos y choques.
 - Permite amortiguación.
 - Determina cantidad de impacto que se absorbe.
 - Soporte profiláctico de la cúpula plantar
- Parte superior del calzado
 - Material firme pero flexible.
 - Mantiene el pie estable sobre la plataforma de la entresuela.

Permite ventilación e higiene del pie

Puntera, contrafuerte y refuerzos compatibles con el tipo de ejercicio o deporte.

La elección del calzado deportivo tendrá en cuenta

- Tipo de actividad.
- Tipo del suelo o de la superficie.
- Acorde a las características morfológicas y estructurales del pie.
- Requisitos del deporte o actividad a desarrollar.

Capítulo 2

Sistema locomotor y armonía del movimiento

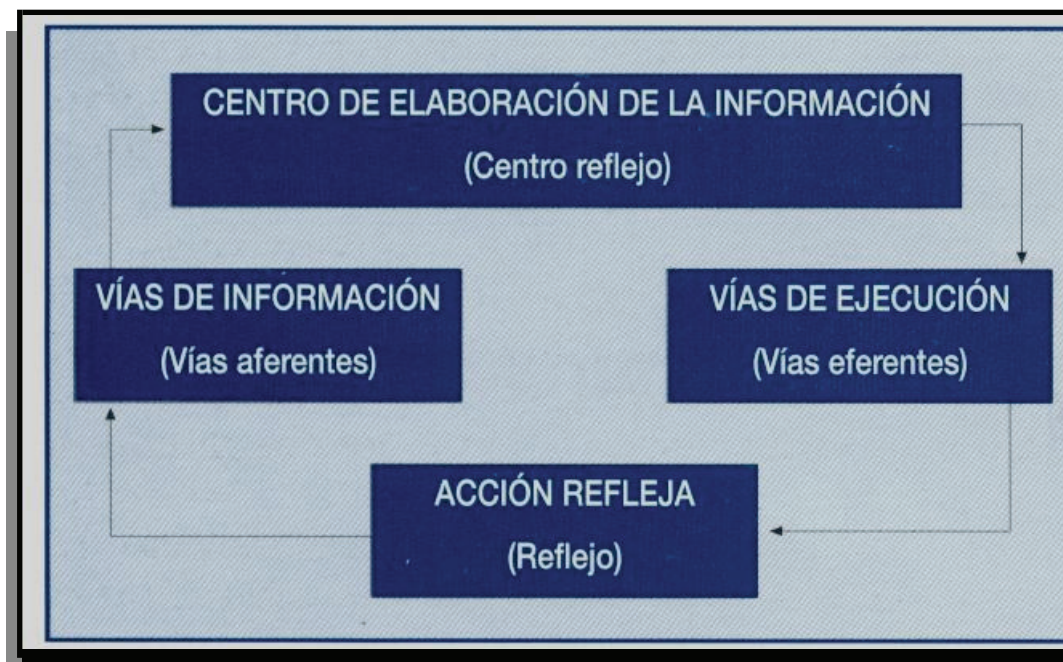
Introducción

Lograr una interpretación biofuncional de la locomoción y de la estructura armónica del movimiento del hombre, proyectada en la ejecución de los ejercicios físicos, es el objetivo principal de este capítulo. Se trata de desarrollar un criterio dinámico sobre las acciones musculares y concebir la ejecución deportiva como una secuencia de cambios en la conducta espacial de los segmentos corporales durante la realización de una tarea motriz. Condición para ello es la percepción de la anatomía y funcionamiento del sistema locomotor como un sistema mecánico, identificando en el esqueleto los pares biocinemáticos, las cadenas biocinemáticas y las relaciones entre los segmentos corporales; igualmente se analizará la biodinámica de los músculos, destacando las variedades del trabajo muscular y la interacción muscular en grupo según lo plantea Donskoi (1988) en coincidencia con el enfoque sobre las cadenas de acción muscular de Tittel (1989) y Hdez. Corvo (1989)

Se hace necesario distinguir los factores que llevan al logro de la eficiencia del movimiento armónicamente estructurado donde se señalarán los factores físico- fisiológicos y los factores psicológicos; en estrecha relación con ellos, los controles biofuncionales y su importancia para lograr la armonía del movimiento sobre la base de la coordinación. Los contenidos abordados en este tema proveen de un ordenamiento sencillo y progresivo para el análisis

de las acciones deportivas basado en la descripción de la conducta espacial y de las cadenas de acción muscular como base biológica para el análisis de la técnica deportiva y de aquellas deformaciones de la técnica que pueden ser causa de lesiones en el deporte.

Si bien en el próximo capítulo se hará mención de la coordinación entre las capacidades motrices, ahora, al abordar el análisis de la armonía del movimiento es obligada la referencia a la coordinación a partir de la actividad reguladora del sistema nervioso y su incidencia en la musculatura. El control neuromuscular será manifiesto tanto en el aprendizaje de cualquier movimiento, en sus repeticiones; en el enlace y acoplamiento de varios movimientos para cumplir una tarea motriz, como durante la adquisición y perfeccionamiento de la técnica deportiva, para cualquiera de las disciplinas o eventos competitivos de que se trate; es decir, en todo lo relacionado con la motricidad, que comprende la totalidad de las estructuras y funciones de dirección que dan lugar a los movimientos. Se trata de estructuras del sistema nervioso central, ya sea las encefálicas o supraespinales (áreas corticales asociativas, córtex motor, ganglios basales, cerebelo y tallo cerebral) así como la médula espinal y sus conexiones nerviosas con la periferia (receptores exteroceptivos y cinestésicos; musculatura).



Esquema de la organización general de un reflejo. (Tomado de López Chicharro, 2001)

A estas estructuras nerviosas se les atribuye la función coordinadora senso-motriz, basada en situaciones reflejas. De este modo, es preciso hablar de coordinación nerviosa, coordinación muscular y coordinación motriz (Donskoi, 1988)

Coordinación nerviosa es la concordancia de los procesos neuro-fisiológicos, bajo determinadas condiciones psicológicas y circunstancias medioambientales que conducen, en situaciones concretas, a la solución de una tarea motriz mediante la dirección de los movimientos a través de las tensiones musculares. Asumiendo que el hombre es un sistema autodirigido (Zatsiorski, 1989), el orden, el carácter racional que le comunica a sus movimientos, comienza a partir de la dirección y modulación que realiza el sistema nervioso; por eso el aspecto decisivo de la coordinación de los movimientos es la coordinación nerviosa.

Coordinación muscular es la concordancia de las tensiones musculares que ejercen su acción sobre los segmentos del cuerpo (pares biocinemáticos), por las señales eferentes del sistema nervioso, bajo el efecto de las fuerzas aplicadas (campos de fuerzas internas y externas). Se manifiesta por la coordinación intramuscular e intermuscular. El rasgo más característico de la coordinación muscular es la interacción muscular en grupo (sinergias musculares, cadenas de acción muscular)

Coordinación motriz es la concordancia de los movimientos de los segmentos corporales en el espacio y en el tiempo (simultáneo o sucesivo) respondiendo a la tarea motriz en condiciones concretas: técnica deportiva específica, estado del deportista, reglamento, medio circundante. La coordinación motriz es resultado de la coordinación nerviosa y muscular, esencialmente por la transformación de las señales aferentes y eferentes en el conjunto neuro-muscular, basado en el principio reflejo.

Los procesos parciales más importantes que aseguran la coordinación motriz son, según Martin (2001) los siguientes:

- Recepción y preparación de la información, a cargo de los analizadores; estos procesos aportan orientación y motivación.
- Procesos en áreas corticales asociativas que determinan la decisión de efectuar el movimiento.

- Programación de la secuencia motriz y previsión de los resultados (anticipación) basándose en los objetivos de la acción, en la información sensorial sobre la situación de partida y en la evaluación de la memoria motriz.
- Transmisión de los impulsos motores (eferencias) a los músculos a través de la inervación.
- Realización de los movimientos por el sistema locomotor, bajo la acción conjunta de la fuerza muscular y las fuerzas externas.
- Información retroactiva o retroalimentación (feedback) constante sobre la realización de la secuencia motriz, con gran peso de la aferencia cinestésica, propioceptiva.
- Comparación de la información retroactiva con el objetivo y el programa previsto: comparar lo pretendido con lo conseguido para determinar errores.
- Transmisión de impulsos normativos que son órdenes de corrección de sus acciones a los músculos.

El cuerpo humano como sistema biomecánico

De acuerdo con el enfoque biomecánico de Donskoi y Zatsiorski (1988) el sistema locomotor está formado por un conjunto de miembros y sus uniones, pares biocinemáticos, relacionados entre sí para establecer las cadenas biocinemáticas provistas de grupos musculares, todo lo que funciona según las leyes de la Mecánica para establecer las diferentes posturas y producir los movimientos; es decir, que el sistema locomotor puede describirse y analizarse en su actividad como un sistema biomecánico

Par biocinemático es la unión móvil (relación cinemática) de dos miembros o palancas óseas, donde las posibilidades de movimientos están determinadas por la estructura de esa relación articular y por la influencia de la dirección muscular. De acuerdo con las formas de las superficies articulares los pares biocinemáticos tendrán ciertas posibilidades de movimiento o grados de libertad. También se describen las condiciones que limitan o impiden los movimientos: son las llamadas ligaduras:

- **Ligaduras geométricas:** Obstáculos permanentes: limitantes óseos; las propias formas de las superficies articulares.

- **Ligaduras cinemáticas:** Limitaciones a la velocidad del movimiento por los músculos antagonistas.

Cadena biocinemática: es la unión sucesiva de una serie de pares biocinemáticos. Puede ser abierta o cerrada.

- **Cadena abierta:** cuando queda un miembro libre al final de la cadena, que forma parte de un par cinemático. Por ej. La mano libre al final del miembro superior.

- **Cadena cerrada:** cuando no queda ningún miembro libre en la cadena; cada miembro forma parte de dos pares cinemáticos. Por ej. Manos apoyadas en la cintura.

En conjunto, como biomecanismos, los pares y cadenas biocinemáticos originan los movimientos. El rasgo distintivo del sistema biomecánico del hombre es su carácter variable, dado por el número de segmentos o miembros que lo componen, los grados de libertad y amplitud de los movimientos, la composición e interacción de los grupos musculares y su permanente autorregulación por el sistema nervioso.

Al estudiar el sistema biomecánico debe considerarse su estructura con:

- Los miembros de las cadenas biocinemáticas (los huesos)
- Los mecanismos de las uniones en los pares biocinemáticos (las articulaciones)
- Las sinergias musculares

Igualmente, deben considerarse las propiedades del sistema biomecánico:

- Aseguramiento energético con capacidad de transformar energía química en energía mecánica
- Dirección de los movimientos en condiciones variables: adaptación por neuro regulación

Las cadenas biocinemáticas están formadas por miembros relacionados de forma móvil, o lo que es lo mismo, segmentos corporales articulados entre sí. En estos miembros, la composición es variable, son rígidos (los huesos), elásticos (los músculos) y flexibles (cartílago); además, los miembros de las cadenas varían en su longitud (distancia lineal desde el miembro proximal al distal) por las posibilidades flexo-extensoras y pueden formar palancas compuestas y péndulos en diversos movimientos.

Cualquier análisis de los movimientos del hombre como sistema biomecánico podrá basarse en los aspectos antes señalados, aplicando las leyes de la Mecánica, sin olvidar las particularidades biopsicosociales del individuo que se estudia. Entre las leyes y principios de la Física Mecánica que se manifiestan durante la realización de cualquier ejercicio se destacan las tres Leyes de Newton.

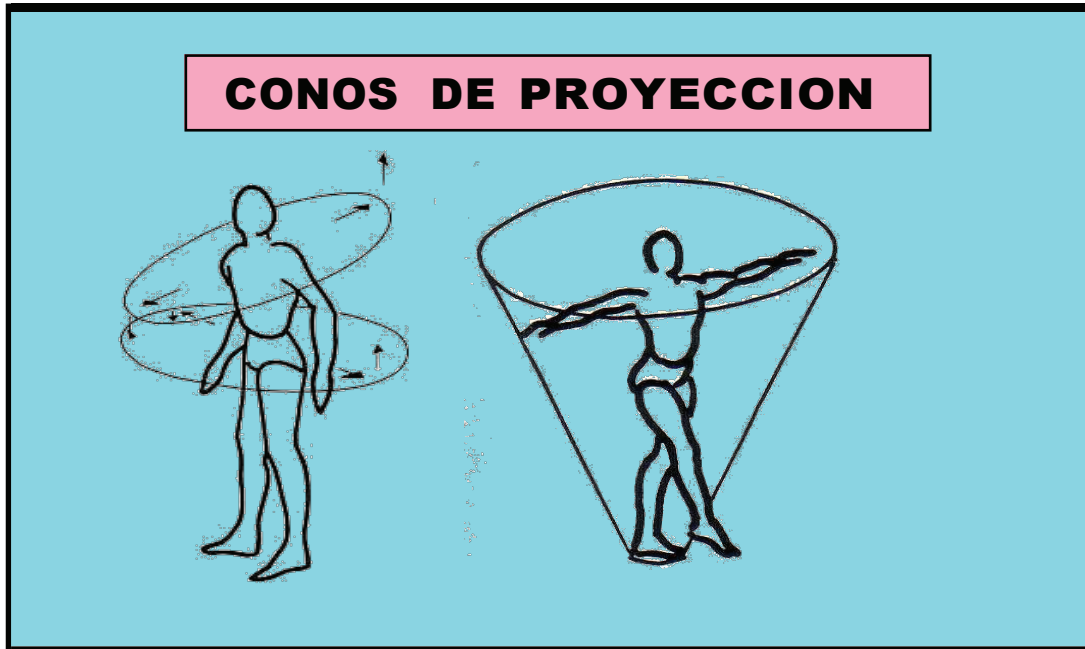
Primera Ley: Todo cuerpo conservará su estado de reposo o de movimiento rectilíneo y uniforme mientras fuerzas externas aplicadas a él no le hagan variar ese estado.

Segunda Ley: La variación del movimiento es directamente proporcional a la fuerza actuante desde fuera y se produce en el sentido en que esté aplicada esa fuerza.

Tercera Ley: Para cada acción siempre existe una reacción de igual magnitud, pero en sentido contrario.

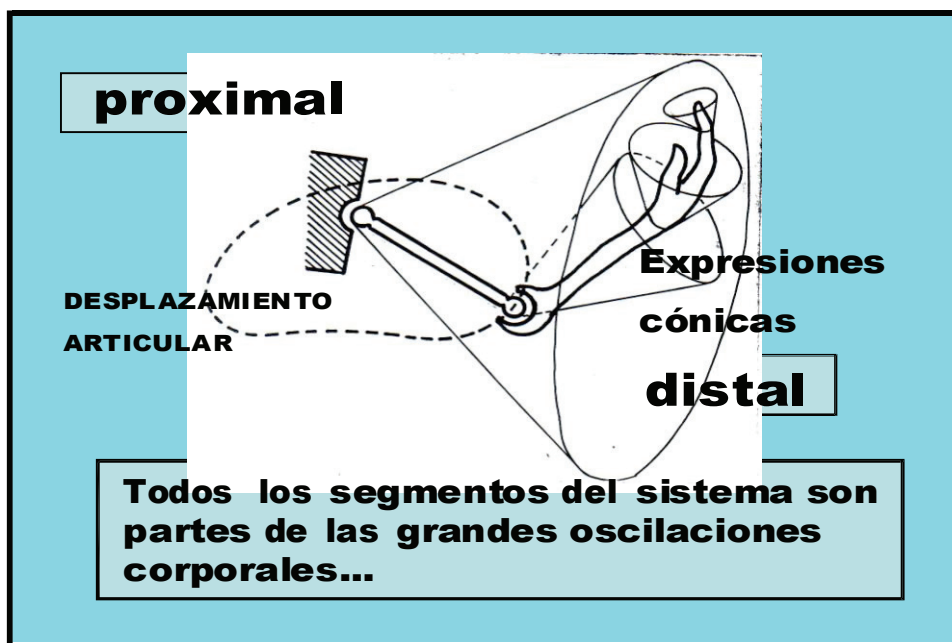
Todo lo expresado desde un enfoque mecánico se manifiesta en la observación de un sujeto en la posición bípeda habitual y en sus variaciones: el sistema humano responde como sistema físico complejo, antigravitatorio y oscilante, con proyecciones de su masa corporal, en lo que Hdez. Corvo (1989) denomina conos de proyección antigravitacional, que también se refleja en el análisis por segmentos de las cadenas biocinemáticas de las extremidades, como se aprecia en las siguientes gráficas:

CONO DE PROYECCION GENERAL DEL SISTEMA



(Tomado de HDEZ. CORVO 1989)

CONOS PARCIALES DE PROYECCION DEL MIEMBRO SUPERIOR



(Tomado de HDEZ. CORVO 1989)

Cadenas de acción muscular

Siguiendo las ideas de Tittel (1990), Hdez. Corvo (1989) y Martin (2001) es posible afirmar que los análisis anatómicos funcionales muestran que incluso, en las secuencias motrices más sencillas, participan siempre combinaciones de grupos musculares, integrándose en las denominadas cadenas musculares. Estas son la conjugación de agrupaciones musculares que realizan el trabajo principal en un determinado movimiento, armonizando mutuamente sus acciones. El supuesto de que cada músculo según su posición, origen e inserción, es capaz por sí solo, aisladamente, de desempeñar una tarea motriz, se sostiene con reservas. La función principal de los músculos aislados la establecen las uniones de grupos musculares dispuestos en determinada relación con los huesos y sus articulaciones y la enmarca el efecto de las fuerzas externas, todo bajo la dirección del sistema nervioso.

Las cadenas musculares son enlaces de músculos que forman “unidades funcionales”, las que actúan sobre una o varias articulaciones, produciendo extensiones, flexiones, rotaciones o manteniéndolas fijas para posibilitar el movimiento de otro segmento o cadena biocinématica.

Puede ilustrarse examinando el efecto de una cadena muscular extensora en un movimiento básico y simple, como es la flexo-extensión del miembro inferior al bajar y subir el cuerpo durante las cuclillas.



(Tomado de Tittel, 1990)

En la gráfica anterior se ilustra cómo mediante una flexión previa, los músculos que participan en la cadena extensora pueden contraerse de conjunto, a partir de una situación de estiramiento, hasta alcanzar la posición idónea de extensión de todo el segmento. Aquí participan como integrantes de la cadena extensora, los músculos: glúteo mayor, cuádriceps crural, gemelos, sóleo y tibial posterior, representados con trazos negros en la gráfica.

Del frenado, neutralización o acoplamiento antagonista de este movimiento extensor se ocupan los músculos situados en la cara contraria de cada segmento: íleo-psoas, semimembranoso, semitendinoso, bíceps crural, tibial anterior y extensores de los dedos, representados en trazos rojos, más tenues, conforman una cadena flexora, según el trabajo que realizan en este ejemplo.

En esta misma línea de pensamiento Donskoi y Zatsiorski (1988) se refieren a la interacción muscular en grupo cuando explican que la acción de los músculos en las cadenas biocinemáticas nunca se produce aisladamente. Los músculos participan en los movimientos de manera conjunta, interactuando complejamente, tanto entre los grupos (coordinación intermuscular) como internamente, por fascículos y haces de fibras dentro de cada músculo (coordinación intramuscular).

Las tensiones de trabajo de los músculos (fuerzas dinámicas) posibilitan la ejecución del movimiento; las tensiones de apoyo (fuerzas estáticas, fijación) crean las condiciones necesarias para la ejecución del movimiento. Los músculos, al realizar los desplazamientos de los segmentos corporales, producen trabajo dinámico: se acortan durante el trabajo motor (contracción concéntrica) o se distienden durante el trabajo resistente (contracción excéntrica)

Las acciones musculares estáticas, de fijación (generalmente contracciones isométricas) son primordiales para efectuar los movimientos. Tanto cuando existe apoyo o suspensión del cuerpo, como cuando no existe (por ejemplo, en las fases de vuelo de carreras y saltos) siempre estará presente la acción de cadenas musculares que fijen y estabilicen unos u otros miembros del sistema, creando una base para que los segmentos móviles se desplacen unos respecto a los otros y todos respecto al apoyo o la suspensión. También para el mantenimiento de las diferentes posturas corporales o posiciones

se requiere de este tipo de acciones musculares. Por tanto, se afirma que en las acciones motrices todos los músculos que participan lo hacen, ya sea de forma dinámica o estática; en ese trabajo son interdependientes y requieren de la constante coordinación neuro-muscular.

Por su efecto se distingue entre

- **Músculos motores primarios** (monoarticulares, profundos, son los que inician la acción, venciendo la inercia).
- **Músculos sinergistas** (participan conjuntamente en la acción)
- **Músculos antagonistas** (anatónicamente situados en lados opuestos, determinan movimientos en dirección contraria, son fijadores, estabilizadores o neutralizadores)

Las acciones musculares son realizadas por músculos situados anatónicamente en capas profundas y superficiales. Los primeros se integran al movimiento básico, fundamental, son los músculos motores primarios; mientras que los más superficiales se integrarán a la estructura final, dando armonía y fluidez al movimiento. Los músculos profundos son motores primarios del movimiento y determinan los desplazamientos de los segmentos corporales. Los músculos superficiales garantizan la estructura depurada, grácil, armónica del movimiento.

En cuanto a los rendimientos de fuerza de los músculos, cabe adelantar que no son solo fuerzas resultantes, ya que actúan sobre un sistema de cadenas biocinemáticas articuladas y con distintos grados de libertad, por lo que algunos grupos (los sinergistas) desarrollan fuerzas en una misma dirección, mientras que otros (los antagonistas) desarrollan fuerzas en dirección contraria o de frenaje del movimiento, sobre una misma articulación; aunque sinergismo y antagonismo en el trabajo muscular son relativos, dada la necesaria interacción funcional de los grupos musculares que posibilita la fluidez y continuidad de los movimientos.

Debido a la disposición de los músculos respecto a la articulación sobre la que actúan, la transmisión de la fuerza muscular al hueso donde se insertan, se lleva a cabo a través de los momentos de fuerza, provocando giro o rotación del hueso alrededor del eje articular. La tracción de cada músculo origina el

momento de fuerza respecto al eje de la respectiva articulación, mediante un engranaje de alta complejidad, donde las tensiones, distensiones y fijaciones musculares transforman cada articulación en un mecanismo biodinámico coherente, con determinada dirección de movimiento y velocidad de desplazamiento de los segmentos corporales.

Todas las acciones musculares se subordinan a las posibilidades de los desplazamientos articulares. Las acciones musculares no pueden estudiarse como procesos aislados; sino que se integran a los controles posturales, a la estructura del movimiento, de manera asociada; los músculos, ya sea como motores primarios, como sinergistas, como neutralizadores, o como estabilizadores de un desplazamiento, forman parte integral del resultado final: el movimiento armónico del sistema en su totalidad.

Desde el inicio de los procesos de verticalización, durante los primeros años de vida, las oscilaciones antigravitacionales del sistema biomecánico obligarán a la organización de cadenas de acciones musculares asociadas, vinculadas a la definición de las curvaturas mecánicas compensantes de la columna vertebral que responden a necesidades del control postural. Toda acción muscular responderá a proceso neurofuncionales, a la idea del movimiento, a los procesos sensoriales y a las facilidades estructurales de la articulación sobre la que actúa.

Clasificación de las cadenas musculares:

Por la integración de los segmentos corporales: abiertas o cerradas...

Por las acciones: flexoras, extensoras, rotatorias...

Por la acción global: posturales, de desplazamiento...

Por el origen: proximales o distales...

Todos los rendimientos de fuerza de la musculatura en las flexiones, extensiones, rotaciones o fijaciones, son realizadas por determinadas cadenas musculares, de acuerdo a las resistencias externas, donde los músculos participantes actúan como "unidades funcionales". Las formas de ejercicios para el entrenamiento de la fuerza deben, por tanto, tomar en consideración estos criterios funcionales sobre las cadenas de acción muscular.

A partir de las nociones sobre la estructura del movimiento, expresadas aquí, es posible proceder al análisis de cualquier ejercicio o técnica deportiva, siguiendo las indicaciones propuestas por Hdez. Corvo (1989) y Donskoi (1988) para realizar evaluaciones individuales o incluso, determinar en qué medida una ejecución incorrecta puede ser causa de lesiones deportivas.

Lo anteriormente expuesto presupone el poder establecer determinadas diferencias entre las distintas posiciones que adopta el cuerpo en cada momento y entre los diversos movimientos o ejercicios físicos que pueden realizarse, por lo que es posible disponer de una clasificación de los ejercicios físicos y por extensión, de los deportes (Zimkin, citado por León, 2010).

Clasificación de los ejercicios físicos

Los ejercicios físicos se derivan de los movimientos que de forma natural realiza el ser humano para alcanzar determinadas posiciones de su cuerpo o realizar cambios de lugar, traslaciones o locomoción. En los ejercicios físicos se encuentran las multivariadas formas de los movimientos corporales naturales, pero combinadas y ejecutadas con un fin específico, ya sea en la Educación Física, en las distintas manifestaciones del Deporte, o en el quehacer de la Cultura Física y la Recreación, actividades estas en las que los ejercicios físicos constituyen el medio fundamental. Ellos conforman también el contenido principal del entrenamiento. Mediante los ejercicios físicos se ejecutan las técnicas específicas de los movimientos en los deportes; a través del mejor dominio de cada ejercicio se busca el máximo resultado competitivo. La realización continuada, sistemática de ejercicios físicos provoca cambios adaptativos orgánicos, por lo que elevan el nivel de desarrollo físico, promueven la salud y contribuyen a su restablecimiento. La multitud de ejercicios y sus combinaciones en los deportes admite que sean clasificados y agrupados atendiendo a sus características comunes, aplicando conocimientos de la Morfología, la Biomecánica, la Fisiología y la Bioquímica, entre otras disciplinas científicas, así como de la Metodología del Entrenamiento y la Metrología Deportiva. Por ello un mismo ejercicio o deporte puede enmarcarse en varias clasificaciones, según el aspecto que se analice.

Atendiendo a las formas de trabajo muscular, los ejercicios pueden ser estáticos o dinámicos:

Trabajo estático (Mantenimiento de posiciones)

- Mantener posiciones y sostener cargas
- Régimen de contracción muscular predominante isométrico
- Tensión muscular sostenida, sin cambio apreciable de la longitud del musculo
- No ocurren desplazamientos

Posiciones del cuerpo

- Parado (de pie, posición bípeda) Acostado (decúbito)
- Sentado (sedente)
- Suspensiones, apoyos y agarres con las manos
- Paradas de manos
- Combinaciones (4 puntos, 3 puntos y 1 punto de apoyo)

En las posiciones del cuerpo puede analizarse

- El área de apoyo
- La ubicación del centro de gravedad corporal respecto al apoyo
- El equilibrio
- El grado de tensión desarrollado por los músculos
- La manifestación de los reflejos tónico-posturales

Trabajo dinámico (movimientos)

- Cambios de posición, variación de la posición de los segmentos corporales, unos con respecto a otros
- Movimiento o cambio de posición de todo el cuerpo en el espacio
- Existe desplazamiento
- Régimen de contracción muscular predominante auxotónico
- Cambia la longitud y la tensión muscular, existe acortamiento y aumenta la tensión
- La fuerza muscular mueve las palancas óseas, cambiando la posición de los segmentos corporales

Por su parte, los ejercicios físicos y por extensión los deportes, se clasifican en variables (no estándar) e invariables (estándar). Los Juegos Deportivos y los Deportes de Combate corresponden a los variables, por la diversidad de combinaciones de ejercicios que manifiestan, sin que tengan un orden fijo de ejecución establecido con anterioridad, sino que están en dependencia de la interacción con el contrario o con el compañero de equipo.

Los deportes invariables se caracterizan por no presentar acciones inesperadas, el orden de los ejercicios se conoce con antelación y se ejecutan de forma repetitiva; se subdividen en cualitativos y cuantitativos atendiendo a la forma en que realiza la valoración de la competencia. En los primeros, el resultado se emite en puntos, de acuerdo a la opinión de los jueces sobre la calidad de la ejecución y grado de dificultad de las combinaciones de ejercicios, entre otros aspectos. Los deportes de Arte Competitivo son ejemplos de éstos. Los cuantitativos se corresponden con los Deportes de Tiempos y Marcas, en los que el resultado se mide en unidades definidas de velocidad, distancia, longitud o peso.

De acuerdo al análisis morfo biomecánico de la estructura del movimiento, los deportes se catalogan como cíclicos y acíclicos. En los cíclicos se repetirán invariablemente las mismas fases del movimiento, que se suceden, en forma enlazada, un ciclo tras otro, sin incorporar ejercicios diferentes a los que conforman el ciclo dado. Son ejemplo de ellos las carreras, el remo, el ciclismo, entre otros.

También se estudian clasificaciones desde el punto de vista fisiológico y bioquímico, basadas en la potencia desarrollada en cada deporte y la fuente energética predominante.

Un enfoque propiamente biomecánico considera los aspectos técnicos del movimiento y no difiere esencialmente de lo expresado en los párrafos anterior es; así puede señalarse la siguiente clasificación (Doria 2003, citado por León, 2010):

Clasificación de los deportes desde el punto de vista técnico

- a. Deportes de fuerza-velocidad (acíclicos): la técnica sirve para aplicar el mayor impulso posible en el momento justo, en un tiempo breve y en

la dirección adecuada. Son ejemplos de ellos los saltos, los lanzamientos, la halterofilia.

b. Deportes de resistencia (cíclicos): la técnica sirve para ejecutar de una forma económica un gesto que se repetirá durante un período de tiempo de distinta duración. Son ejemplos de ellos; las carreras de atletismo, de patinaje, la natación, el esquí de fondo, el remo, etc.

c. Deportes de composición-técnica: la técnica pasa a ser el propio objetivo a evaluar, siendo más valoradas las ejecuciones técnicas más complejas y aumentando en otros casos la expresividad del movimiento. Son ejemplo de ellos; la gimnasia artística y la rítmica, el patinaje artístico sobre hielo, el nado sincronizado, los clavados, etc.

d. Juegos deportivos y Deportes de combate: la técnica alcanza niveles de gran variedad y complejidad, teniendo diversos objetivos; aumentar la precisión, coordinar técnicas individuales, evitar la anticipación defensiva del contrario, ejecución adecuada en condiciones externas cambiantes, entre otras situaciones.

Consideraciones biomecánicas sobre la técnica deportiva

Hablar de estructura armónica de un movimiento desde el punto de vista morfo- biomecánico lleva a valorar aspectos relacionados con la técnica de ejecución de los movimientos en cada modalidad deportiva, a lo que Martin (2001) llama técnica deportiva, cuestión que posee una importancia jerárquica en el proceso de entrenamiento, ya que el acceso a una disciplina deportiva tiene lugar mediante el aprendizaje de sus destrezas básicas.

El dominio técnico también posee un efecto integrador pues el nivel de destreza alcanzado por el atleta es determinante para transformar sus capacidades físicas en rendimientos competitivos. De esta manera Verjoshanski, citado por Martin (2001) considera el entrenamiento de la técnica como el proceso más importante de adaptación a largo plazo del organismo entrenado, porque su esencia y su meta consisten en aprovechar óptimamente el potencial motriz y la condición física que se desarrollan constantemente, para la solución de tareas deportivo- competitivas.

Por otra parte, la especialización creciente en el deporte exige desde tempranas edades la elección de una modalidad concreta y dentro de ella, en muchos casos, un evento o posición de juego específico, lo que requiere la búsqueda del dominio de la estructura de los movimientos desde las etapas de iniciación deportiva.

Por todo ello los especialistas de las Ciencias y la Metodología de la Cultura Física y el Entrenamiento Deportivo deberán estar bien informados sobre las teorías del aprendizaje motor, como fundamento de la técnica deportiva. Asimismo, se precisan conocimientos sobre las características de las técnicas particulares de cada modalidad, apoyado en las aplicaciones de la Biomecánica, pues solo a través de los resultados que aportan sus investigaciones se obtienen datos exactos, objetivos y confiables sobre la técnica, su adquisición y perfeccionamiento por el deportista.

Martin (2001) define la técnica deportiva como una secuencia de movimientos experimentada, funcional y eficaz, (secuencia motriz) que sirve para resolver una tarea definida en situaciones deportivas y constituye un modelo orientador. Los procesos motores que tienen lugar al ejecutar las técnicas deportivas poseen características cualitativas y cuantitativas, esos son sus rasgos motores. Otros autores definen la técnica como el componente del rendimiento deportivo donde se describe el modelo ideal de ejecución de un movimiento en una disciplina determinada y su propia realización (Doria 2003, citado por León, 2010).

SECUENCIA MOTRIZ

RASGOS MOTORES

CUALITATIVOS

- Ritmo
- Acople
- Flujo
- Exactitud
- Constancia
- Amplitud
- Rapidez
- Fuerza

RASGOS MOTORES

CUANTITATIVOS

ESTRUCTURA MOTRIZ

CINEMATICA

DINAMICA o CINETICA

- | | |
|---------------|---------------------|
| - Longitud | - Inercia |
| - Tiempo | - Fuerzas |
| -Angulo de | - Momentos de |
| -Articulación | Fuerzas |
| -Situación | |
| -Velocidad | - Energía Potencial |
| - Aceleración | - Energía Cinética |

Rasgos motores en una secuencia motriz

Los rasgos cuantitativos no son observables directamente. Son objeto de mediciones biomecánicas. Las técnicas deportivas cumplen su función de modelo orientador basándose sobre todo, en informaciones cuantitativas (datos biomecánicos).

Martin (2001) citando a varios autores, describe cuatro tipos de destrezas, según el carácter cíclico o acíclico de sus movimientos y la condición de cerradas o abiertas respecto a las condiciones externas de la ejecución: cerradas si existe constancia de condiciones externas; abiertas si las condiciones externas son cambiantes o hasta imprevisibles.

Todas las técnicas específicas o tipos de destrezas de un deporte, ya sean cíclicas o acíclicas, abiertas o cerradas, se fundamentan en modelos técnicos básicos y estables, esto es, en destrezas motrices automatizadas y duraderas, que mantienen su función como modelo aun en el marco de combinaciones de movimientos, utilización variable o condiciones externas cambiantes. El dominio técnico se resume en la puesta en práctica de las destrezas motrices aprendidas y automatizadas, con las que sea posible resolver eficiente y racionalmente, las tareas propias del evento de que se trate. Se habla de una buena técnica, una técnica adecuada, racional, cuando con ella se consigue el nivel biomecánico óptimo en cada momento, un alto grado de virtuosismo, estabilidad, utilización en condiciones variables y el resultado deportivo esperado. De esta concepción de la técnica se derivan los objetivos para su entrenamiento.

Capítulo 3

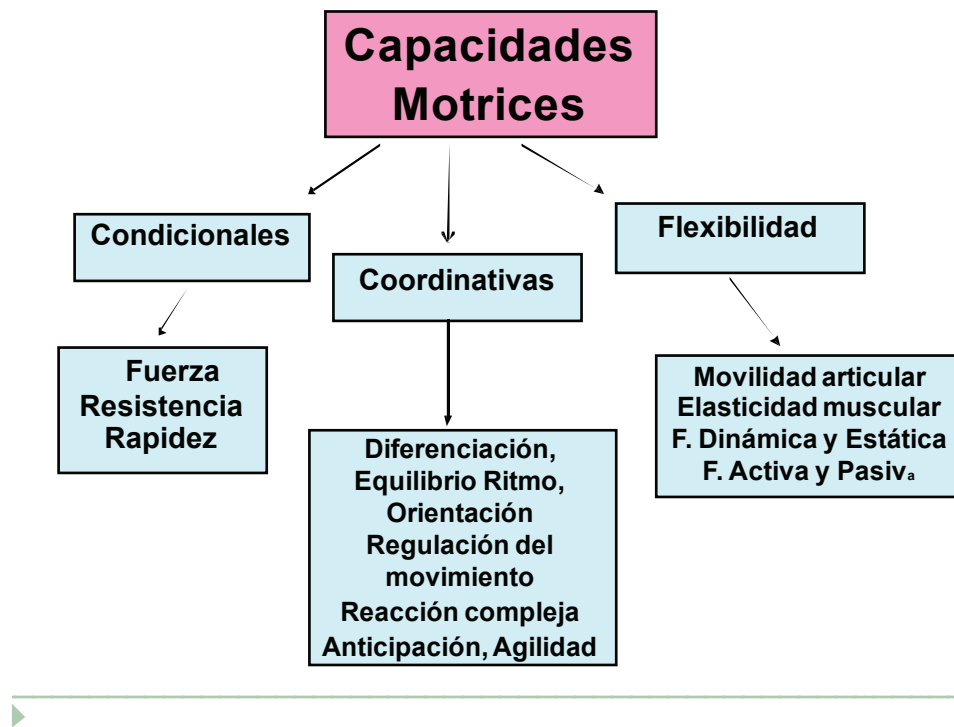
Bases morfo-biomecánicas de la motricidad

Introducción

Al iniciar este capítulo es necesario llamar la atención sobre la diversidad de términos que, en la literatura especializada y en diferentes idiomas, se refieren al mismo objeto de estudio: indistintamente se les llama cualidades o capacidades, físicas o motrices, a aquellas posibilidades motoras que posee cada individuo y que en su conjunto, se denomina motricidad (Donskoi, 1988). Ciertamente, la distinción entre uno y otro término tiene un origen académico en la Teoría y Metodología del Entrenamiento y una importancia secundaria para la praxis (Martin, 2001).

Basado en un enfoque biomecánico y de la Metrología Deportiva (Zatsiorski, 1989) puede afirmarse que las cualidades motrices son premisas biológicas que se han desarrollado filogénica y ontogénicamente en interacción con el medio y que son susceptibles de perfeccionamiento por la influencia del proceso pedagógico del entrenamiento en el individuo, como entidad biopsicosocial (O'Farril et al, 2001)

Fuerza, velocidad, resistencia, flexibilidad, coordinación, son cualidades motrices que disponen de un concreto y específico equivalente estructural y funcional en el organismo; cuando se aplican técnicas de medición y se expresa su nivel de desarrollo con una unidad de medida, se habla de capacidades físicas o motrices, como se ilustra en el siguiente esquema, agrupadas en capacidades condicionales y capacidades de flexibilidad, que determinan la condición física del individuo; por otra parte, las capacidades coordinativas responden al complejo estructural de la agilidad.



Esquema de clasificación de las capacidades motrices

Con independencia de la clasificación, lo cierto es que en las distintas actividades físicas y en los deportes, estas capacidades se manifiestan en un complejo integrado e interdependiente. Es decir, en el entrenamiento, las capacidades motrices se desarrollan y se miden por separado, pero se interrelacionan en el gesto deportivo, actúan en conjunto y finalmente, se expresan como integración de cualidades propias de los movimientos.

Las capacidades físicas son, por tanto, requisitos previos, que delimitan la motricidad. Sus modificaciones a lo largo de la vida de un individuo tienen lugar por el proceso biológico, natural, de cambios desde la infancia hasta la vejez, aun sin la influencia del entrenamiento. Así puede hablarse de ontogenia de la motricidad, en dependencia de la edad y el sexo de cada persona.

La condición física es un componente del estado de rendimiento; se basa en la interacción de los procesos energético-metabólicos del organismo y la regulación neuromuscular; está relacionada asimismo con las características psíquicas que exigen las capacidades condicionales y la flexibilidad.

Las capacidades coordinativas reflejan la posibilidad de aprender movimientos con relativa rapidez y dominar con seguridad y eficacia las tareas motrices en situaciones tanto previsibles como imprevistas; tienen gran dependencia de los procesos del sistema nervioso central y la regulación neuromuscular, así como del desarrollo psíquico.

Siguiendo las ideas de Doria (citado por León, 2010), para la elección de una especialización deportiva, para el establecimiento de las vías de preparación ulterior y para la evaluación de los resultados de la preparación realizada, hay que determinar el nivel de preparación física de los alumnos y su desarrollo físico (constitución corporal y estado del aparato locomotor). Las particularidades de la constitución física (dimensiones del cuerpo y sus partes, sus correlaciones, forma y masa), en muchos ejercicios deportivos, influyen considerablemente sobre el resultado. De ellas dependen una serie de particularidades de la técnica, que son las más convenientes para los deportistas de una u otra constitución física. Este es el valor del nivel de desarrollo de las cualidades motoras (fuerza, velocidad o rapidez, resistencia y flexibilidad). La investigación biomecánica, gracias al empleo de pruebas de desarrollo de las cualidades motoras y de ejercicios de control, conjuntamente con la investigación médica, permite determinar y evaluar el nivel de preparación física.

Resumiendo lo expuesto por diferentes autores, puede plantearse que las capacidades motrices son las siguientes:

Capacidades condicionales

Capacidades de FUERZA: Fuerza Máxima
Fuerza Rápida (Explosiva) Fuerza Reactiva
Fuerza - Resistencia

Capacidades de RESISTENCIA: Resistencia de Corta
Duración Resistencia de Media
Duración Resistencia de Larga Duración

Capacidades de VELOCIDAD: Velocidad de Reacción
Rapidez de Movimientos
Capacidad de Aceleración
Resistencia de la Velocidad

CAPACIDADES DE FLEXIBILIDAD

Movilidad o Amplitud Articular
Elasticidad Muscular
Flexibilidad Estática y Dinámica
Flexibilidad Activa y Pasiva

CAPACIDADES COORDINATIVAS

Diferenciación Cinestésica
Orientación Espacial y Temporal
Equilibrio
Capacidad de Reacción Compleja
Ritmo
Regulación del Movimiento
Anticipación
Agilidad

En el deporte, cada acción motriz, cada rendimiento, se basa siempre en una combinación de las distintas capacidades, aunque, como regla, prevalezca alguna de ellas. Sin embargo, el entrenamiento no puede limitarse a trabajar solo la o las capacidades más determinantes del rendimiento. Dado que todas están biológicamente relacionadas, el desarrollo de unas influye positivamente sobre las otras. Aunque en la preparación individual se tiende a elevar el nivel de aquellas capacidades que responden a los requerimientos de cada disciplina o evento, no sería ético, ni adecuado en el aspecto metodológico, violar el principio del desarrollo armónico y multilateral del practicante, sobre todo en las edades de iniciación deportiva y en los programas de Actividad Física para promoción de salud.

En los siguientes párrafos se realiza un acercamiento a las capacidades condicionales y la flexibilidad desde el punto de vista morfo-biomecánico. Al introducir el tema del Sistema Locomotor y la Armonía del movimiento, en el Capítulo 2, se trataron aspectos relacionados con la coordinación y la técnica deportiva, que son aplicables al análisis de las capacidades coordinativas, por lo que no serán abordados nuevamente en este capítulo.

Análisis morfo-biomecánico de las capacidades condicionales

Musculatura esquelética y actividad física.

Bases morfo-biomecánicas de la fuerza.

Las grandes cargas físicas, propias del deporte moderno, plantean elevadas exigencias a todos los sistemas orgánicos del deportista. Entre ellos, a la musculatura esquelética. Las investigaciones sobre las transformaciones que tienen lugar en el músculo, a todos los niveles de su estructura, bajo la influencia de distintos regímenes de entrenamiento, poseen un gran significado teórico y práctico, porque las modificaciones estructurales se proyectan a sus posibilidades funcionales y han de tenerse en cuenta en las consideraciones metodológicas del entrenamiento.

Como ya se ha expresado, en el deporte de alta maestría cada resultado se basa, entre otros factores, en una combinación de las capacidades motrices, aunque se distinga alguna como factor determinante del rendimiento. Sin embargo, en todos los deportes es incuestionable la necesidad de desarrollar en grado significativo las capacidades de fuerza, en sus distintas manifestaciones: fuerza máxima, fuerza rápida o explosiva, fuerza reactiva, fuerza-resistencia, donde las tres últimas dependen en gran medida de la fuerza máxima, que se entiende como la mayor fuerza posible que el sistema neuromuscular es capaz de ejercer con la máxima contracción voluntaria.

Lopez Chicharro (2001) expresa que “la fuerza es una cualidad ligada al proceso fisiológico de la contracción muscular. Independientemente del concepto de fuerza que pueden tener los físicos, desde un punto de vista médico de aplicación en fisiología del ejercicio, la fuerza es la tensión que un músculo puede oponer a una resistencia en un solo esfuerzo máximo.

Se puede definir la fuerza estática, como aquella que genera tensión sin desplazamiento, y fuerza dinámica como la que genera tensión con desplazamiento, ya sea alargamiento o acortamiento del músculo en actividad.", agregando que "No hay que olvidar en el estudio de la fuerza muscular que ésta es una cualidad física extremadamente compleja, que integra componentes neurales, energéticos, bioquímicos, de coordinación intra e intermuscular, elementos físicos, técnica de movimiento, entre otros"

El mismo autor amplía sobre las distintas formas de manifestación de la fuerza:

Fuerza estática máxima: Es la mayor fuerza que el sistema neuromuscular puede ejercer voluntariamente contra una resistencia imposible de vencer.

Fuerza dinámica máxima: Es la fuerza que el sistema neuromuscular puede realizar voluntariamente durante un movimiento.

Fuerza explosiva: Es la capacidad de un músculo o grupo muscular de acelerar una determinada masa hasta alcanzar la velocidad máxima en un tiempo muy breve.

Fuerza resistencia: Es la resistencia del músculo o grupo muscular frente a la fatiga, durante una contracción muscular repetida, o sea, la duración de la fuerza a largo plazo.

Vale recordar aquí algunos conocimientos básicos sobre el tejido muscular que se exponen a continuación, resumidos de Pacheco (citado por León, 2011)

Funciones de la musculatura:

1. Mantenimiento de forma, contorno corporal y posición
2. Provisión de la fuerza para el movimiento
3. Protección de tejidos frágiles
4. Recubrimiento del tejido óseo
5. Generación de calor

Tipos de tejido muscular

- Estriado (esquelético y cardíaco)
- Liso

Propiedades del tejido muscular

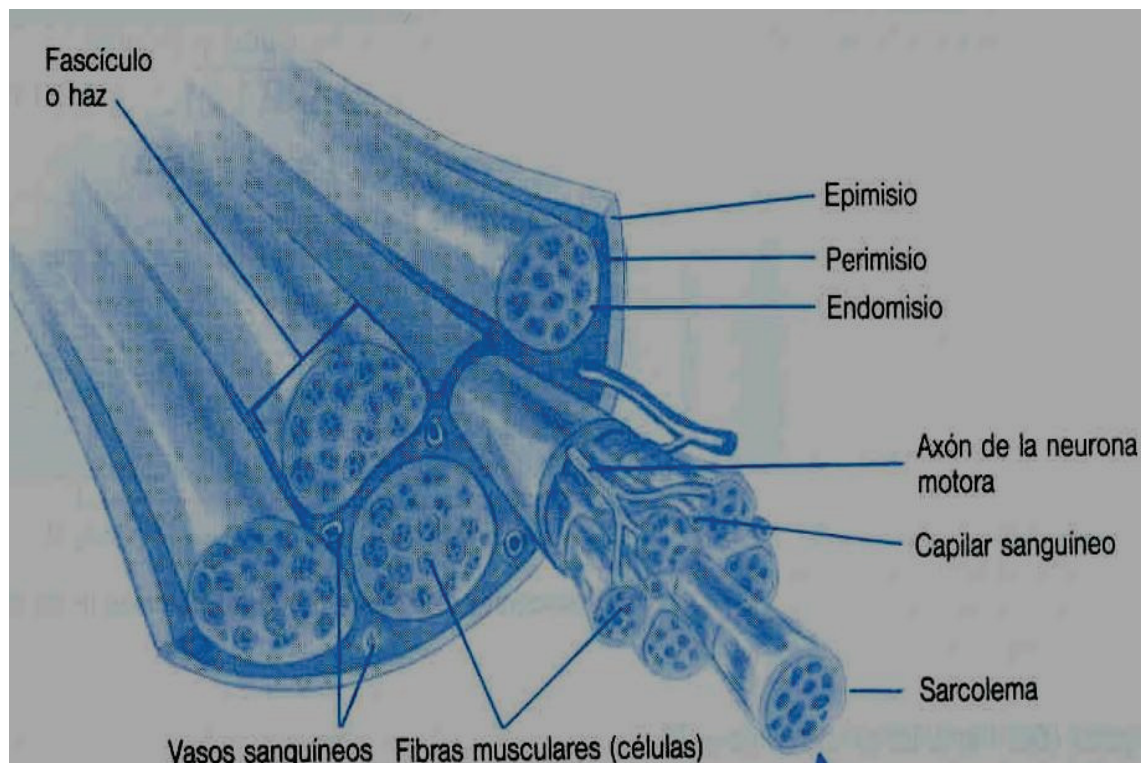
Excitabilidad: Ante un estímulo, responde con potencial de acción.

Contractilidad: Propiedad de acortarse y engrosarse, generación de fuerza para realizar trabajo.

Extensibilidad: Distensión o elongación muscular sin daño y coordinación con un músculo par.

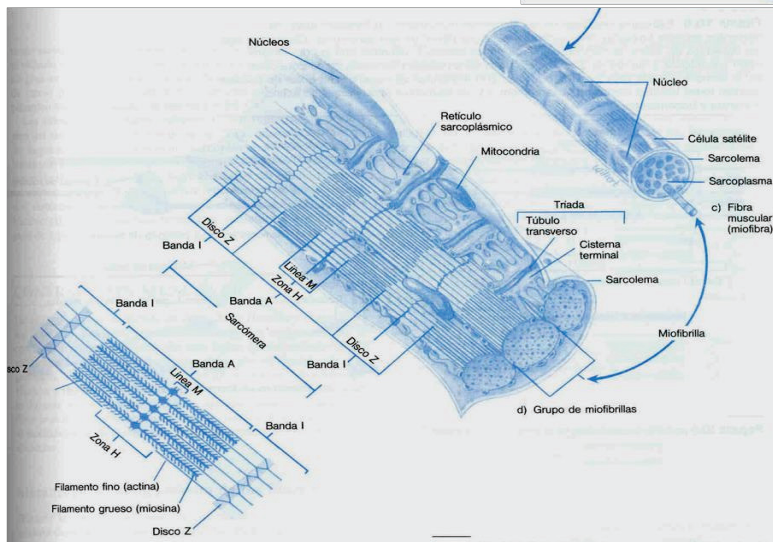
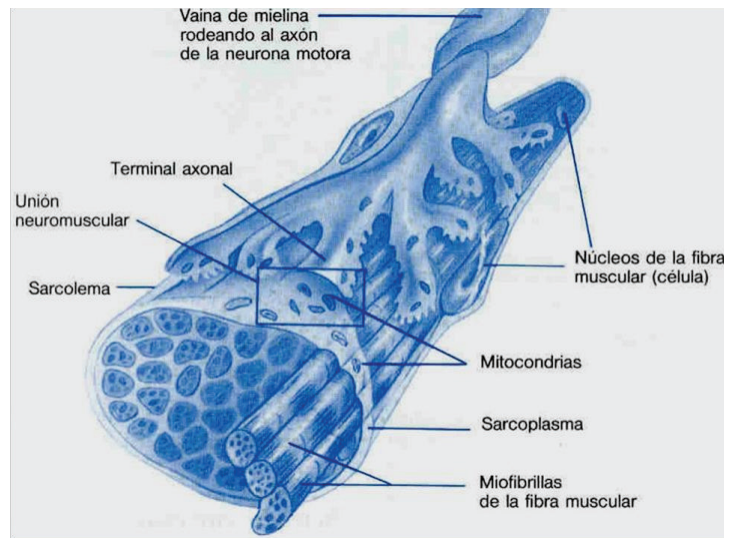
Elasticidad: Recobra su forma original después de una contracción o distensión.

Anatomía básica del tejido muscular esquelético



Esquema de la estructura muscular (Modificado de Pacheco, citado por León 2011).

La masa muscular está formada por millares de fibras musculares, que son las células básicas de este tejido y que se encuentran agrupadas en fascículos y haces. Formando parte de las fibras musculares se encuentran las miofibrillas con su contenido de miofilamentos de proteínas contráctiles, actina y miosina, conformando las sarcómeras. Esta compleja ultraestructura constituye la base morfofuncional para la contracción muscular.



Esquema de la estructura de la fibra muscular, las miofibrillas y la sarcómera
(Modificado de Pacheco, citado por León 2011)

En todos los músculos de un individuo se pueden describir distintos tipos de fibras musculares, diferenciadas a partir de los mioblastos, como células básicas de este tejido.

Tipos de Fibras Musculares

Por el contenido de mioglobina y otros componentes, se dividen en:

Fibras Musculares Rojas (Tipo I):

Tienen alto contenido de mioglobina

Contienen mayor cantidad de mitocondrias
Tienen mayor cantidad de capilares sanguíneos

Fibras Musculares Blancas (Tipo II):

Tienen menor cantidad de mioglobina, mitocondria y capilares

Por la capacidad de reacción metabólica, por la velocidad de contracción y la rapidez de fatiga, se clasifican en:

Fibras oxidativas de contracción lenta ST (Tipo I, Fibras rojas)

Fibras oxidativas-glucolíticas de contracción rápida FT (Tipo IIa, Fibras blancas)

Fibras glucolíticas de contracción rápida FT (Tipo IIb, Fibras blancas)

La proporción de los distintos tipos de fibras presente en los músculos de cada individuo tiene una marcada dependencia genética, que no admite gran modificación por el efecto del entrenamiento. Esta proporción tendrá influencia en la manifestación, desarrollo y entrenabilidad de las capacidades motrices de fuerza, velocidad y resistencia; por estar notablemente subordinada al genotipo individual, la disponibilidad y porcentaje de fibras de uno u otro tipo influye en el talento o probabilidad de éxito en deportes o eventos específicos.

Envolviendo la masa muscular se encuentran las fascias:

Fascia superficial

Inmediatamente debajo de la piel, formada por:

- Tejido adiposo
- Tejido conjuntivo

Funciones:

- Almacenamiento de agua y grasa
- Aislamiento (conservación de calor)
- Protección mecánica contra traumatismos
- Rutas para salida y entrada de nervios y vasos sanguíneos

Fascia profunda.

Formada por:

- Tejido conjuntivo denso e irregular que mantiene a los músculos unidos de manera funcional
- Se extiende en tres capas:
- Epimisio
- Perimisio
- Endomisio
- Tendón: Unión alargada de las tres capas citadas, que se inserta en el hueso

Aponeurosis: Unión ensanchada y plana (aponeurosis epicraneal)

Vainas tendinosas y bolsas serosas: Tejido conjuntivo que rodea los tendones. Poseen una película con líquido sinovial, con las funciones de:

- Permitir el movimiento libre de los músculos
- Contener nervios, vasos sanguíneos y linfáticos
- Rellenar los espacios existentes entre los músculos
- Reducir la fricción y rozamiento

Inervación del Músculo Esquelético

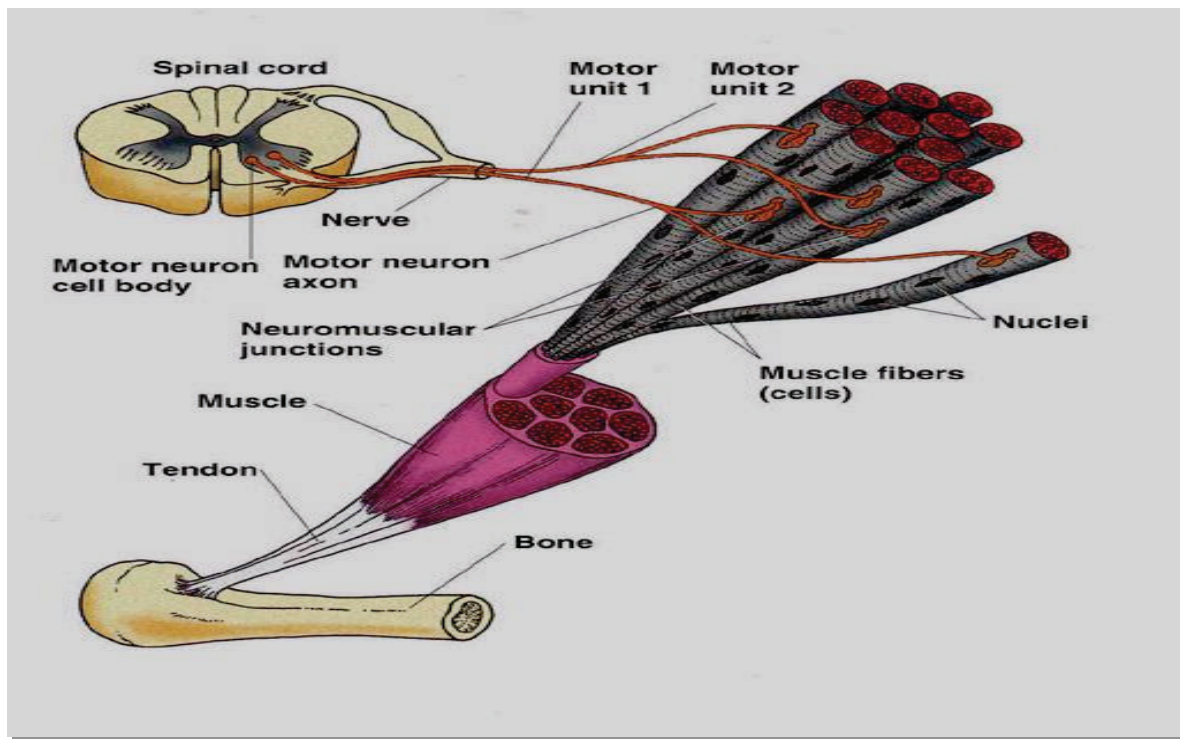
Neuronas motoras de asta anterior medular: Emiten el impulso que origina la contracción muscular.

Unidad Motora

Conformada por una neurona motora y el conjunto de fibras musculares inervadas por ella.

Movimientos precisos: Por ej. Músculos de la laringe, para la producción de la voz: sólo 3 - 4 fibras por neurona

Movimientos potentes: Por ej. Contracción del bíceps braquial: hasta 1000 fibras por neurona



Representación esquemática de la unidad motora (Tomado de Pacheco, citado por León 2011)

Características de la unidad motora:

Una sola neurona puede producir la contracción simultánea de todas las fibras musculares que integran la unidad motora.

Todas las fibras musculares que la integran son de un mismo tipo.

Todas las fibras musculares que la integran se contraen y se relajan a un mismo tiempo “Ley del todo o nada”

La fuerza total de una contracción se puede controlar ajustando el número de unidades motoras activadas.

Sinapsis Neuromuscular

1. Sinapsis eléctrica: Se produce por “contacto” entre las células excitables, a través de zonas especializadas.

2. Sinapsis química: Relación neuromuscular o mioneural establecida a través de la hendidura sináptica por la liberación de un neurotransmisor. Presenta: • Placa motora terminal: conformada por los terminales axonales (forma de bulbo) y la membrana de la fibra muscular adyacente.

- **Vesículas sinápticas:** Se encuentran dentro del extremo distal de un terminal axonal. Contienen moléculas de un neurotransmisor.

Tipos de Contracciones Musculares: Contracciones Dinámicas (Anisométricas)

Contracciones concéntricas: El músculo se acorta y tira del tendón para producir movimiento y reducir el ángulo en una articulación.

Contracción Excéntrica: El músculo acortado se alarga poco a poco mientras continúa en contracción.

Contracciones Estáticas (Isométricas)

Estabiliza ciertas articulaciones para mover otras.

Importantes para mantener la postura, sujetar objetos en posición fija.

Consumen energía

Producen tensión considerable sin acortamiento del músculo.

Un aspecto importante del trabajo de los músculos corresponde al tono muscular. El tono muscular es el estado de semicontracción del músculo, de origen reflejo y constituye la base sobre la cual tiene lugar cualquier acto motor, sea simple o complejo, ya que permite los siguientes hechos fundamentales:

- 1) Asegura la postura dinámica en función del gesto que se va a realizar.
- 2) Permite el desarrollo eficaz del movimiento a través de la influencia de los centros nerviosos superiores sobre el circuito básico reflejo.
- 3) Asegura el comienzo y mantenimiento del acto motor.

El tono muscular es producido por la activación involuntaria de unidades motoras que producen la contracción sostenida de las fibras musculares; al mismo tiempo una gran parte de las unidades motoras están relajadas. Este proceso ocurre de manera alternada y constante.

La fuerza de acción del hombre, que se manifiesta durante los movimientos del cuerpo humano en el deporte, depende directamente de la tracción de los músculos sobre las palancas óseas, aunque la correspondencia entre tracción y fuerza no es simple, ya que en los distintos movimientos interviene un número variable de músculos por la interacción muscular en grupo de las

cadena muscular, donde la fuerza es el resultado de su acción conjunta; además, las variaciones de los ángulos articulares modifican las condiciones de tracción que ejercen los músculos sobre las cadenas biocinemáticas.

La práctica deportiva demuestra que el entrenamiento específico aumenta la fuerza y otras propiedades funcionales del músculo, pero también se ha observado que cuando se aplican cargas máximas y el tiempo de recuperación es insuficiente, la fuerza muscular comienza a disminuir y no se logran los resultados antes alcanzados. Es importante conocer las transformaciones estructurales y funcionales que ocurren en estos casos y en la hipodinamia por sedentarismo, inmovilización, encamado u otras causas.

Por ser la fuerza humana resultado de la actividad muscular, todo aumento de la fuerza se sustenta en las correspondientes modificaciones neuro-fisiológicas, bioquímicas y estructurales en la musculatura; numerosos estudios han establecido que las primeras manifestaciones adaptativas del músculo se evidencian en cambios de carácter neuro-fisiológico y bioquímico, a los que se suman, con el paso de semanas y meses de entrenamiento, las transformaciones morfológicas.

En cuanto a la adaptación de la musculatura al entrenamiento de fuerza, se sabe que después de dos a tres semanas de entrenamiento específico de fuerza aparecen modificaciones neuro-fisiológicas:

- Conexión de unidades motoras adicionales (reclutamiento).
- Activación reforzada de las unidades motoras previamente incorporadas (sincronización).

Después de 4 a 6 semanas de entrenamiento de fuerza se suman a las modificaciones neurógenas, las de carácter morfo-funcional:

- Aumento del corte transversal de las fibras y del vientre muscular (hipertrofia).
- Adaptación de la actividad metabólica por diferenciación según el tipo de fibra.
- Incremento del depósito de substratos en la célula muscular (creatín-fosfato y glucógeno).
- Ampliación de la placa motora.

- Aumento de la capa de mielina en los nervios.
- Incremento de la capilarización del tejido muscular.

Entre los factores que determinan el grado de la fuerza muscular se señalan los siguientes:

- 1) Área del corte transversal o sección fisiológica del músculo: Hipertrofia por actividad.
- 2) Estructura del músculo: Proporción de los distintos tipos de fibras musculares.
- 3) Regulación nerviosa: Aferencia propioceptiva; sincronización y reclutamiento de unidades motoras.
- 4) Composición corporal: Proporción de masa corporal activa y de tejido adiposo en relación con el peso corporal total.
- 5) Magnitud de fuerza máxima absoluta y fuerza relativa, respecto al peso corporal.
- 6) Sexo y edad del individuo: dimorfismo sexual; regulación hormonal; crecimiento y maduración biológica
- 7) Factores biomecánicos: Relaciones longitud-tensión, fuerza-velocidad de contracción y fuerza-tiempo.

Sobre la hipertrofia, se considera que es el aumento del volumen de las fibras musculares y de la masa de los músculos en su conjunto, no es aumento del número de fibras que componen cada músculo.

El incremento de volumen y diámetro del músculo hipertrofiado puede llegar al 100% de los valores iniciales.

Las fibras musculares se hacen más voluminosas elevando el número de:

- Miofibrillas, con ligero aumento de su diámetro
- Moléculas de actina y miosina
- Núcleos celulares
- Mitocondrias
- También aumenta el retículo endoplasmático

La importancia de la sección fisiológica del músculo esta dada por su relación con la fuerza máxima de contracción. Guyton (2006) plantea que un músculo ejerce una fuerza de 3 a 4 kg por cm^2 de área de su vientre muscular (corte transversal o sección fisiológica). Por ejemplo, el cuádriceps femoral, que puede alcanzar 100 cm^2 de área en su sección fisiológica, llegaría a ejercer hasta 400 kg de fuerza o tensión sobre el tendón rotuliano y su inserción en la tuberosidad tibial, lo que explica en cierta medida algunos traumas, como arrancamientos tendinosos.

Numerosos estudios experimentales, sobre todo en animales, han reportado que, coincidiendo con una hipertrofia extrema, se produce la división longitudinal de las fibras musculares en lo que se considera una "hiperplasia funcional", con aumento del número, la cantidad de fibras en la masa muscular.

Con respecto a los factores biomecánicos señalados, se entiende lo siguiente:

Relación longitud-tensión: cuando un músculo se contrae desde su longitud de reposo, desarrolla máxima tensión contráctil; cuando se contrae a partir de una longitud ya reducida, la tensión contráctil disminuye; cuando el músculo se distiende, se estira, desarrolla tensión elástica, que va en aumento mientras disminuye la tensión contráctil.

Relación fuerza-velocidad: si una contracción concéntrica esta precedida de una contracción excéntrica, se denomina ciclo de estiramiento - acortamiento; cuando un músculo se estira ofrece cierta resistencia a la fuerza externa que actúa sobre él y absorbe su energía cinética, entonces es que el músculo deja de estirarse y empieza a acortarse con el empleo de la energía potencial almacenada gracias a la elasticidad muscular.

Relación fuerza-tiempo: está relacionada con el tipo de fibra muscular: fibras rápidas presentan contracción fuerte y de corta duración. Las fibras lentas, son de contracción menos fuerte pero más duradera.

Otro enfoque de las manifestaciones de la fuerza se encuentra al clasificar las tensiones musculares, como expone Tous, (citado por León 2011) al explicar tipos básicos de tensión muscular:



La tensión tónica es aquella que se produce al tratar de vencer una gran resistencia mediante la aplicación continuada de una acción isométrica o dinámica. En la foto anterior, donde el sujeto intenta extender la rodilla izquierda frente a una resistencia que bloquea su pierna, asistimos a una tensión tónica de la musculatura extensora de la rodilla.

La tensión fásica es aquella que se produce cuando se realiza un trabajo muscular dinámico que incluye, por lo general, movimientos cíclicos. Utilizando la misma ilustración, sería la tensión de la musculatura extensora de la rodilla cuando el sujeto realiza varias repeticiones del movimiento de extensión-flexión de la rodilla, venciendo la resistencia opuesta en la pierna, a una determinada velocidad.

La tensión tónico-explosiva, es aquella que se produce cuando se intenta vencer una resistencia inferior a la que genera la tensión tónica. Tras una acción isométrica cuya magnitud dependerá de la carga, se pasa a una acción concéntrica. Un ejemplo de esta tensión muscular es la que se produce al lanzar un objeto pesado.

La tensión elástico-explosiva, sería una tensión muy similar a la anterior pero con la diferencia que el objeto lanzado es mucho más ligero. Este tipo de tensiones se producen frecuentemente durante gran parte de eventos deportivos, por ejemplo, al lanzar el disco, o durante el servicio en voleibol. El término elástico indica que previa a la acción dinámica concéntrica se produce un estiramiento prolongado de la musculatura implicada

La tensión elástico-explosiva-reactiva, es parecida a la anterior. La diferencia radica en que la fase de estiramiento es corta y muy pronunciada. El ejemplo de este tipo de tensión se presenta en los músculos del brazo cuando se efectúa un remate de voleibol o en los de las extremidades inferiores al ejecutar un salto con rebote.

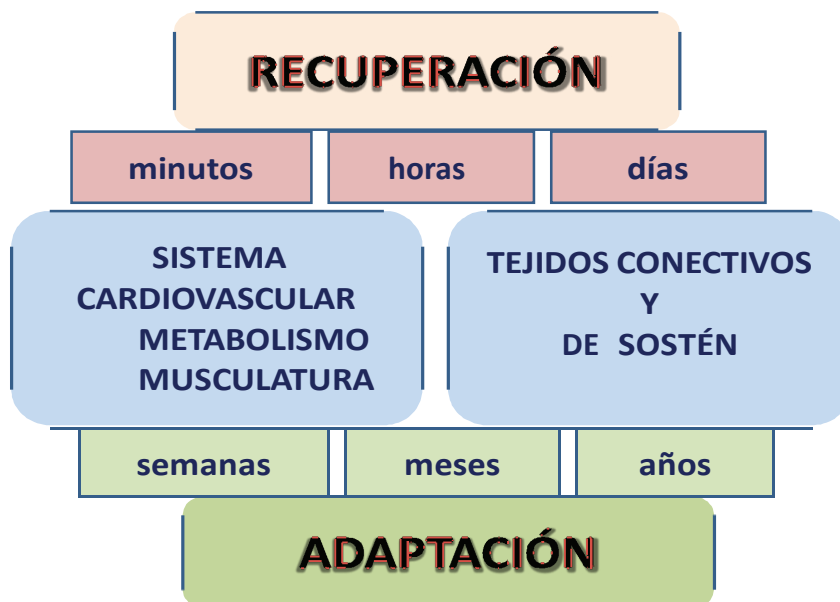
Todas las acciones musculares definidas anteriormente, pueden resumirse utilizando un mismo concepto, altamente difundido en el ámbito deportivo, denominado fuerza muscular. Siempre se aplica fuerza muscular cuando se genera tensión en los grupos musculares para oponerse a una resistencia externa. La fuerza muscular será de mayor o menor magnitud en función de la participación de dos mecanismos: el sistema nervioso puede estimular un mayor o menor número de unidades motoras responsables de la participación de más o menos fibras musculares en la acción muscular la intensidad de esa acción puede alterarse si varía la frecuencia con que los estímulos nerviosos se envían a las fibras musculares.

La fuerza máxima puede medirse a partir de una contracción voluntaria y con equipamientos de registro muy específicos (Dinamometría). También puede medirse durante movimientos que se realizan contra resistencias tan grandes, que pueden ser superadas sobre la base, precisamente, del nivel de fuerza máxima alcanzado. La fuerza máxima de que dispone un atleta solo se manifiesta en escasas situaciones competitivas, con contracciones tanto excéntricas como concéntricas, por ejemplo, en determinadas fases de los ejercicios de Halterofilia, el Lucha y en Gimnasia Artística. No obstante, como ya se ha expresado, la fuerza máxima es un requerimiento básico de la condición física para el rendimiento en todas las modalidades deportivas, particularmente en las que predomina la fuerza rápida; incluso, en eventos de resistencia, solo el aumento de la capacidad de fuerza máxima lleva a los mejores resultados cuando los componentes de resistencia son explotados óptimamente.

Para la utilización más racional del potencial de fuerza es necesario que las capacidades coordinativas estén bien desarrolladas, así como la amplitud en los movimientos (flexibilidad). Las características psíquicas volitivas, motivacionales, del atleta tienen un importante papel para el logro de estos objetivos. El nivel de fuerza que se alcance depende también de otros factores

que pueden ser mejorados con la aplicación adecuada de las cargas de entrenamiento, correcta planificación de intensidad y volumen de las cargas, atendiendo a la relación trabajo - descanso, al control nutricional, los medios de recuperación y las medidas fisioprolifáticas del trauma deportivo.

En este contexto no puede olvidarse que el músculo manifiesta su fuerza a través de las inserciones en los huesos, provocando la fijación o el desplazamiento de las palancas óseas, por lo que toda manifestación de la fuerza siempre tendrá un efecto en los componentes esquelético-articulares, debido a las tracciones musculares. En por ello importante resaltar que esos tejidos conectivos, de sostén (cartílagos, cápsulas y ligamentos articulares; fascias y tendones, esqueleto y tejido óseo) reaccionan con una respuesta positiva de adaptación ante estímulos por cargas físicas adecuadas y sistemáticas; sin embargo se ha demostrado que estas estructuras “pasivas” del sistema locomotor representan una especie de “punto débil”, lo que se ilustra en el siguiente esquema sobre los plazos de recuperación y adaptación en diferentes sistemas orgánicos.



(Modificado de Zimmermann, citado por León 2010)

Debido a las características metabólicas de los tejidos conectivos y de sostén, los procesos de recuperación y adaptación en estos órganos transcurren más lentamente que en la musculatura, es decir requieren más tiempo para lograr tanto la recuperación inmediata, como la adaptación a mediano y largo plazo; por ello un esfuerzo dado, asimilable para el músculo, pudiera representar

una sobrecarga en los órganos conectivos, de sostén, incluyendo el tejido óseo, lo que sería una de las causas que originan procesos de lesiones por sobreuso.

La resistencia. Aspectos morfo-biomecánicos

Cuando se hace referencia a la capacidad física de resistencia siempre se establecerá relación con una de las magnitudes de la Física Mecánica: el tiempo, y de éste con otras que se analizan como las características biomecánicas del hombre y sus movimientos (características cuantitativas), ya sean cinemáticas o cinéticas. Esto se debe a que las distintas definiciones de la resistencia aluden a la capacidad de contrarrestar la fatiga (Donskoi, 1988), es decir, al tiempo durante el que un individuo puede realizar una tarea motora con una determinada intensidad, o a la capacidad para sostener determinado trabajo o rendimiento durante el más largo periodo de tiempo posible (Martin, 2001). Para Zintl (citado por Leon, 2010) la resistencia es la capacidad física y psíquica de soportar el cansancio frente a esfuerzos relativamente largos y también es capacidad de recuperación rápida después de los esfuerzos.

Aun cuando el concepto de resistencia no haya encontrado en la Metodología del Entrenamiento una definición universalmente aceptada, todo apunta a elementos relacionados con trabajo de larga duración, soporte de la fatiga, capacidad de recuperación y tolerancia al entrenamiento.

Es por ello que las investigaciones sobre los fundamentos biológicos de esa capacidad motriz e incluso, las pruebas pedagógicas y médicas de terreno para el control y desarrollo de la resistencia, aplican la Ergometría, conjunto de técnicas de medición de la capacidad de trabajo del hombre, donde se analizan datos sobre las variables de intensidad, volumen y tiempo en la ejecución de las tareas de movimiento.

En el control de esas tres variables se registran distintas características biomecánicas, o sea, magnitudes mecánicas aplicadas a los movimientos humanos, que son a su vez, indicadores ergométricos:

Intensidad de la tarea motora: se relaciona con la velocidad (espacio/ tiempo en m/seg); la potencia (trabajo/ tiempo en watt); la fuerza (masa x aceleración en Newton N)

Volumen de la tarea motora: se relaciona con la distancia recorrida (en metros, kilómetros); el trabajo realizado (fuerza x espacio en Joule); el impulso de la fuerza (fuerza x tiempo en N/seg.)

Tiempo de ejecución de la tarea motora: se relaciona con la duración (en seg., min.), así como con el tempo o la frecuencia de repetición de los movimientos.

Para valorar la resistencia, todos estos indicadores se analizan en relación con la fatiga.

Se entiende por fatiga la disminución temporal de la capacidad de trabajo provocada por el propio trabajo realizado (Donskoi, 1988). Se describen diferentes tipos de fatiga: mental, de los centros nerviosos, sensorial, emocional, física. En Biomecánica se analizan los efectos de la fatiga física, causada por la actividad neuro-muscular.

Como resultado del ejercicio, del trabajo muscular, se produce la fatiga física, que transcurre por dos fases:

- **Fase de fatiga compensada:** se incrementan las dificultades y síntomas de la fatiga, mas el deportista se esfuerza por mantener la intensidad de la tarea motora, por ejemplo, la velocidad en una carrera de media o larga distancia.

- **Fase de fatiga descompensada:** a pesar de todos sus deseos y esfuerzos, el deportista no logra mantener la necesaria intensidad en la ejecución de la tarea motora.

La fatiga se manifiesta a través de sensaciones subjetivas específicas, pero también con cambios fisiológicos y bioquímicos característicos, haciéndose muy evidente por las modificaciones de los indicadores biomecánicos, lo que afecta la realización del movimiento, al impedir el mantenimiento de la técnica deportiva más racional.

Durante la fatiga, generalmente, no cesa el desplazamiento, el movimiento corporal se mantiene; sin embargo, se afectan algunos de los indicadores de la estructura motriz, con variaciones de la técnica que, en casos de fatiga extrema, se altera totalmente. Se ha comprobado que la disminución de algún indicador trata de compensarse con el aumento de otro. En el ejemplo de la carrera, la fatiga afecta la amplitud de los pasos, lo que el atleta trata de compensar con el aumento de la frecuencia de los pasos.

También se observa una disminución en los indicadores de fuerza-velocidad en los músculos fatigados que conlleva una variación consciente o inconsciente de la técnica deportiva, pues la fatiga produce en el deportista reacciones de adaptación para compensar todos los cambios dados por la disminución de las posibilidades funcionales. Estos cambios tardarán en manifestarse a medida que se desarrolle la resistencia.

El desarrollo de la resistencia, que debe ser objetivo del entrenamiento en cualquier modalidad físico-deportiva, depende de los siguientes componentes:

Economía de la técnica deportiva

Metabolismo energético aeróbico

Capacidad de consumo de oxígeno

Hipertrofia del miocardio (incremento de masa muscular y del volumen cavitario)

Eficiencia del bombeo cardiaco

Peso corporal idóneo

Cualidades psíquicas, voluntad de resistir

Factor genético "talento para la resistencia"

Este último componente se revela tanto en el porcentaje de fibras musculares de contracción lenta, como en la regulación neuro-muscular y en la máxima capacidad de consumo de oxígeno alcanzable, pues el entrenamiento solo puede elevar hasta alrededor de un 50 % la capacidad de consumo de oxígeno determinada por la estructura genética (Martin , 2001)

Es de gran interés recoger la experiencia práctica y relacionarla con investigaciones biomecánicas que tengan como objetivo mantener y elevar la estabilidad de la técnica en relación con el estado de fatiga, partiendo de las recomendaciones para la economía de la técnica en eventos de larga duración.

Una de las cuestiones más importantes relacionadas con la racionalidad de la técnica es su economía en cuanto al gasto energético del atleta, aspecto determinante en el retardo de la aparición de los síntomas de la fatiga. La economía de la técnica deportiva depende de dos grupos de factores que se interrelacionan (Donskoi, 1988). Son los factores fisiológico-bioquímicos

y los factores biomecánicos. Desde el punto de vista biomecánico existen dos vías para elevar la economía de los esfuerzos, sobre todo en deportes cíclicos de resistencia:

La primera vía se refiere a la disminución de las magnitudes de gasto energético en cada ciclo, considerando:

- eliminar movimientos innecesarios
- eliminar contracciones musculares excesivas
- disminuir las resistencias externas
- disminuir las variaciones de la velocidad en cada ciclo
- elegir la correlación óptima entre la fuerza y la velocidad del movimiento
- elegir la correlación óptima entre la longitud y la frecuencia de los pasos

La segunda vía se refiere a la recuperación de la energía, buscando:

- La transformación de la energía cinética en energía potencial y viceversa
- La utilización racional de las fuerzas elásticas de los músculos

De manera que esta capacidad física compleja que es la resistencia depende tanto del factor genético como del entrenamiento y se relaciona con la economía de movimientos, los esfuerzos volitivos así como con la fuerza, la velocidad y el mantenimiento de la técnica. Su desarrollo provoca adaptaciones energético- musculares para cargas prolongadas, elevando la tolerancia al entrenamiento (entrenabilidad) y a la fatiga, a la vez que influye positivamente en los procesos de recuperación, cuestiones que la hacen imprescindible para todos los deportes y necesaria de entrenar desde las edades de iniciación deportiva.

Por los efectos beneficiosos que provoca en el sistema cardio-respiratorio y en el metabolismo, el entrenamiento de la resistencia se ha convertido en la modalidad más difundida de entrenamiento para la promoción de salud y el "Fitness", al igual que para la rehabilitación de distintas enfermedades a través de la actividad física, hasta en altas etapas de la vida.

Velocidad desde el punto de vista morfo-biomecánico

La velocidad o rapidez se refiere a la capacidad del hombre de realizar acciones motoras en el menor tiempo posible, en determinadas condiciones. Se distinguen las siguientes manifestaciones de la velocidad:

- Velocidad de un movimiento aislado, con poca o nula resistencia (velocidad acíclica)
- Frecuencia de los movimientos (velocidad cíclica)
- Tiempo de latencia de la reacción (velocidad de reacción ante un estímulo)

Sin embargo, en un rendimiento global de velocidad, interactúan sus diferentes componentes, aun con poca correlación entre ellos; así un atleta puede presentar una rápida reacción ante una señal y ser lento en la frecuencia de movimientos, o viceversa.

La velocidad se origina en bases biológicas de tipo morfo biomecánicas y energéticas de predominio anaeróbico, pero sobre todo en procesos reguladores del sistema nervioso central y de la psiquis, destacándose entre los decisivos para el rendimiento:

- La movilidad de los procesos nerviosos
- La capacidad de anticipación
- La capacidad para responder a estímulos
- La experiencia motriz y el potencial técnico coordinativo
- La rapidez en la producción de fuerza muscular
- Las cualidades genéticas para la velocidad (porcentaje de fibras musculares rápidas, dimensiones antropométricas, composición corporal)

Mientras que la velocidad de reacción es la condición psico-física del rendimiento que permite al ser humano reaccionar, responder con determinada rapidez a los estímulos, indicios o señales, la aceleración es primordial para poder realizar un movimiento veloz, particularmente en los ejercicios cíclicos. La aceleración es la relación entre el incremento de la velocidad y el tiempo empleado para ese incremento. La aceleración solo se produce si existe aumento de la velocidad. A una velocidad constante, no se manifiesta aceleración (Martin, 2001)

Los rendimientos de velocidad dependen en gran medida de la fuerza muscular, en sus manifestaciones de fuerza máxima y fuerza rápida, a partir de las relaciones fuerza-velocidad y fuerza-tiempo, ya señaladas con anterioridad.

La velocidad de movimiento esta relacionada con la rapidez al ejecutar cada movimiento aislado dentro de las secuencias motrices, cíclicas o acíclicas. Como característica cinemática, la velocidad es la relación entre la distancia recorrida por un cuerpo y el tiempo empleado para hacerlo. Desde el punto de vista biológico, para la aceleración y la velocidad del movimiento, tienen gran importancia los procesos neuro reguladores y la inervación muscular, como son la sincronización y reclutamiento de unidades motoras en el músculo, la coordinación intra e intermuscular y las conexiones de la senso motricidad medular que, según Kuchler (citado por Martin, 2001) garantizan las siguientes funciones:

Control de la longitud y la tensión muscular de una extremidad, armonización con el lado opuesto y compensación de efectos no deseados en la secuencia motriz.

Generación de programas de movimientos básicos (memoria motriz elemental, centros locomotores) para movimientos coordinados de desplazamientos.

Mecanismos de adaptación con los que los centros locomotores se adecuan a las secuencias motrices aprendidas.

En la práctica deportiva se manifiesta la complejidad de los análisis morfo- biomecánicos de la velocidad, por todos los elementos a considerar en ese tipo de investigación; por ejemplo, en carreras de cortas distancias, el resultado depende del tiempo de reacción en la arrancada, la velocidad de movimiento en cada fase y en cada ciclo, su aceleración; de la frecuencia de los pasos y de la longitud de la zancada, la que a su vez se relaciona con las dimensiones del miembro inferior; de la fuerza muscular, la amplitud del movimiento y de la técnica adquirida. Así mismo será de complejo el trabajo del entrenamiento para desarrollar esta importante capacidad física en un deportista.

Aspectos morfo-biomecánicos de la flexibilidad

Bajo el término “Flexibilidad” se entiende la posibilidad de realizar los movimientos de los segmentos corporales con una gran amplitud angular. En la bibliografía pueden aparecer como sinónimos de flexibilidad, otros términos como son: movilidad, amplitud de movimientos, amplitud de movimiento articular, amplitud angular o de oscilación, elasticidad, extensibilidad, distensibilidad; estos tres últimos más relacionados con propiedades de músculos, tendones y ligamentos así como de la piel.

Debe agregarse que las capacidades de flexibilidad no se explican solo con la amplitud del movimiento articular y las posibilidades de estiramiento de las “partes blandas”, sino sobre la base de condicionamientos complejos: los mejores resultados en la flexibilidad son consecuencia de:

- Combinar las propiedades elásticas de músculos, tendones, ligamentos y piel con la fuerza necesaria para alcanzar la mayor amplitud angular, anatómicamente posible, en cada articulación.
- Lograr una buena coordinación intra e intermuscular en las cadenas musculares.
- Poseer un repertorio o programa de movimientos adecuado, amplio y variado.

Martin (2001) define la flexibilidad como la capacidad de ejecutar movimientos, de forma voluntaria y orientada a un objetivo, con la óptima amplitud de ángulo de movimiento en las articulaciones implicadas: amplitud necesaria, no excesiva.

Otros autores la definen como el máximo rango de movimiento que puede medirse en una o varias articulaciones, muy relacionada con la capacidad de estiramiento muscular.

El grado de amplitud de movimientos es específico para cada articulación, por lo tanto, buena amplitud de movimiento en la cadera no la asegura en los hombros; lo mismo ocurre en ambos lados de cuerpo (derecho e izquierdo).

Se describen dos tipos básicos de flexibilidad: la estática, que se refiere a la amplitud angular respecto a una o varias articulaciones, con mantenimiento de una posición específica, sin realizar movimiento. Por ejemplo, la flexibilidad estática se manifiesta cuando se realiza un split,

figura gimnástica que consiste en separar las piernas en abducción máxima, conservando la posición durante algunos segundos.

La flexibilidad dinámica corresponde a la capacidad de emplear la amplitud angular de las articulaciones durante el movimiento, en la ejecución de un ejercicio físico o combinación de varios, tanto a velocidad normal como acelerada. Un ejemplo de ello es la amplitud del paso del corredor, ya sea un sprinter o un maratonista.

También se diferencia entre la **flexibilidad activa** y la **flexibilidad pasiva**, donde:

Flexibilidad activa: Cuando la amplitud del movimiento se consigue por la propia fuerza de los grupos musculares del deportista.

Flexibilidad pasiva: Cuando la amplitud del movimiento se consigue por la acción muscular y la fuerza adicional de un agente externo, que puede ser la ayuda de otra persona o el uso de instrumentos. Es de mayor amplitud que la activa.

Los indicadores biomecánicos más exactos de la flexibilidad se obtienen mediante la goniometría en las articulaciones de interés; menos informativas son las mediciones lineales, ya que pueden tener la influencia de las dimensiones y proporciones corporales, al igual que en la evaluación cualitativa de esta capacidad.

La flexibilidad es una condición básica, primordial para una buena ejecución del movimiento, tanto desde el punto de vista cuantitativo como cualitativo. En el deporte en general, independientemente de la disciplina que se trate, la ejecución técnicamente correcta de los movimientos, su expresión estética y el virtuosismo propio de la maestría deportiva, demandan un alto grado de flexibilidad, principalmente de la columna vertebral y las articulaciones principales.

La flexibilidad es necesaria para poder recuperar rápidamente la posición de más eficacia muscular en cada articulación y realizar los movimientos con fluidez, armonía y amplitud, manteniendo una correcta postura.

Toda sesión de entrenamiento debe contemplar al inicio, como parte del calentamiento y no como una innecesaria pérdida de tiempo, el trabajo de flexibilidad para conseguir óptima movilidad articular y capacidad de estiramiento muscular, como preámbulo del plan de entrenamiento diario.

Esto es válido también para todo tipo de actividades de la Cultura Física y clases de Educación Física. En todos los casos se recomienda la inclusión de la técnica del “stretching”, que acciona sobre las posibilidades de distensión músculo tendinosa, incidiendo sobre los propioceptores (husos musculares y órganos tendinosos de Golgi), modificando de cierta manera los reflejos miotáticos medulares. Ello requiere conocimiento y habilidad por parte del atleta, para aplicar correctamente esta técnica de estiramiento.

Los efectos del trabajo de flexibilidad y stretching han demostrado ser eficaces también después de una alta carga física, para impedir la rigidez articular, reducir las contracciones musculares residuales y aliviar la fatiga, coadyuvando a los procesos de recuperación y a la profilaxis de las lesiones deportivas.

La contribución de la flexibilidad al rendimiento es múltiple, porque con un nivel alto de esa capacidad, las tareas de fuerza y velocidad pueden ejecutarse sin obstáculos, con poca resistencia interna; el aprendizaje motor no se verá impedido por la torpeza; y algo de la mayor importancia: se reduce el riesgo de lesiones por rupturas músculo tendinosas, de ligamentos y cápsulas articulares.

En los deportes de arte competitivo ésta es una cualidad determinante para el rendimiento, como garantía de la técnica y la armonía, la elegancia del movimiento. En deportes de resistencia una buena flexibilidad significa alta economía en el movimiento, ya que una apertura articular reducida aumenta la tensión muscular y exige mayor frecuencia de movimiento, por ejemplo, de pasos en la carrera de fondo, con mayor gasto energético. En deportes de fuerza rápida la mayor flexibilidad favorece la rapidez ya que a mayor amplitud, menor frecuencia, por ejemplo en las carreras de cortas distancias; en particular, la mayor amplitud angular articular propicia una mayor aceleración en las fases preparatorias o de impulso.

Factores que influyen en la amplitud del movimiento:

Anatomía de la articulación: Formas de las superficies articulares, grados de libertad, ligamentos, limitantes óseas.

Musculatura: Balance entre sinergistas y “antagonistas”, regulación

neuro- muscular, hipertrofia, contractura residual.

Edad: Edades tempranas, con mayor proporción de tejido condral en el esqueleto y mayor elasticidad en partes blandas facilita el incremento de la flexibilidad; Adultos con mayor rigidez en tejidos conectivos, especialmente en esqueleto, limitaciones para desarrollar flexibilidad.

Sexo: Constitución femenina favorece la flexibilidad por mayor laxitud en los tejidos.

Otros factores: Clima y temperatura ambiental, hora del día, temperatura corporal, calentamiento previo, nivel de entrenamiento, estado de fatiga.

Los rangos normales de amplitud articular se resumen en la tabla adjunta. En deportistas éstos pueden estar incrementados como resultado del entrenamiento específico, por ejemplo en los gimnastas.

CIMEQ Servicio de Medicina Física y Rehabilitación							
GONIOMETRÍA* (ARTROMETRIA)							
Movimientos Fundamentales y Amplitud Articular							
Artic.	Movim.	Amplit.	Excursión Total	Artic.	Movim.	Amplit.	Exc. Total
Hombro	Flexión	180°	225°	Cadera	Extensión	10°	135°
	Extensión	45°			Flexión	125°	
	Abducción	180°	Abducción		45°		
	Adducción	0°	Adducción		10°		
	Rot. Ext.	90°	160°		Rot. Ext.	45°	
	Rot. Int.	70°		Rot. Int.	45°	90°	
Codo**	Extensión	180°	145°	Rodilla**	Extensión	180°	140°
	Flexión	35°			Flexión	40°	
Antebrazo (Articulación radiocubital)	Supinación	90°	180°	Tobillo**	Flexión Plantar	135°	65°
	Pronación	90°			Flexión Dorsal	70°	
Muñeca	Extensión	70°	150°		Pie	Inversión	
	Flexión	80°		Eversión		20°	
	Desv. Cubital	35°	55°				
	Desv. Radial	20°					

* Plano de Referencia para las mediciones 180°
** Amplitud articular total por diferencia

Fuente: Modificado de: Kendall F.p.; Kendall Mc Creary: "Músculos pruebas y funciones"; Edit. JIMS 2da ed. 1985, Barcelona, España.

(Tomado de García Delgado: Goniometría, citado por Leon, 2010)

Se hace necesario alertar sobre el peligro de desgastes excesivos unilaterales, movimientos anti fisiológicos o sobrecargas de las estructuras de amortiguación (cartílago articular, discos intervertebrales, meniscos) y de sujeción articular (cápsulas, ligamentos) a consecuencia de la ejercitación excesiva para desarrollar la flexibilidad. Debe conseguirse un lógico equilibrio entre la búsqueda de la movilidad articular y el mantenimiento de la estabilidad articular.

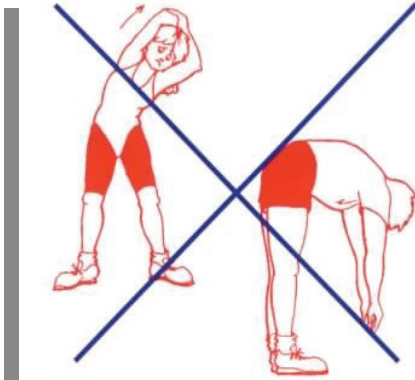
La flexibilidad no puede alcanzarse a costa de disminuir la estabilidad articular, ni provocando desbalances musculares, ya que esto, junto a un conjunto capsular ligamentoso hiperdistendido resulta en incidencias asimétricas de fuerzas sobre las superficies articulares como causa de condropatías y degeneraciones de la estructura articular. Cargas inadecuadas de tracción, compresión o torsión, pueden producir disímiles traumas articulares, mientras que el alcance de un grado de libertad fisiológicamente óptimo y el suministro idóneo de líquido sinovial en las articulaciones exige someterlas a un desarrollo sistemático y continuado de la flexibilidad. El trabajo sobre la flexibilidad es, por tanto, un componente irremplazable del proceso de entrenamiento.

El resultado de cualquier programa de flexibilidad puede ser mucho más fácil de predecir y menos lesivo si se conocen y aplican ciertos principios biológicos y biomecánicos.

La evaluación de la flexibilidad de una persona y la formulación de un programa de entrenamiento de su flexibilidad, debe considerar no solo las ventajas de aumentarla, sino también las posibilidades de lesiones, el deterioro funcional y del rendimiento, lo que es muy frecuente entre otras razones, por desconocimiento de los instructores de los programas, en caso de que se lleve a cabo en condiciones inadecuadas.

Para evitar esos errores y poder considerar aspectos preventivos en el desarrollo de estos programas, tanto en el entrenamiento de alto rendimiento como en la actividad física con fines de promoción de salud convendría tomar en cuenta las indicaciones para desarrollar la flexibilidad sin causar lesiones, como se ejemplifica en las ilustraciones adjuntas (modificado de Corsino 2001, citado por León 2010).

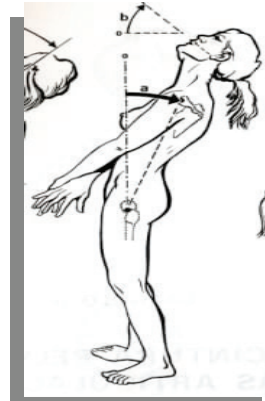
EJERCICIOS A EVITAR



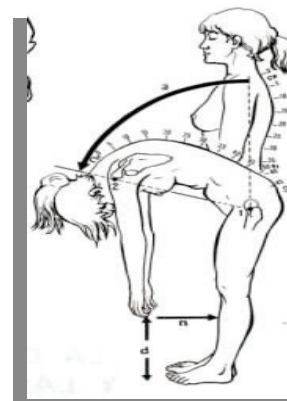
Músculos Oblicuos del abdomen:

Sometidos a tensión alta porque son los que evitan en ese momento la caída lateral o al frente del tronco.

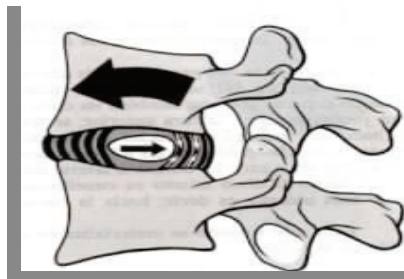
- Tensión muscular aumentada.
- No hay relajación.
- Daños a los discos de la columna vertebral



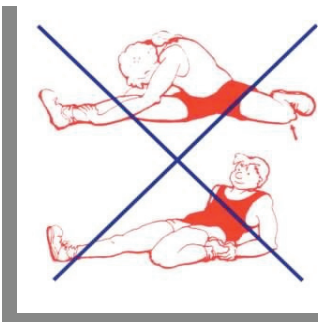
Extensión forzada del tronco



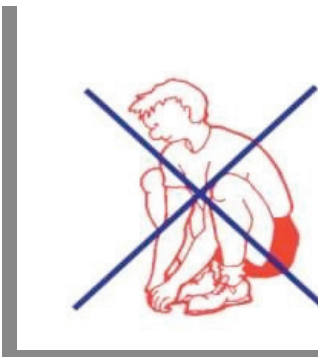
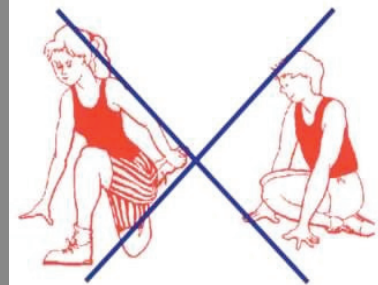
Flexión sostenida del tronco



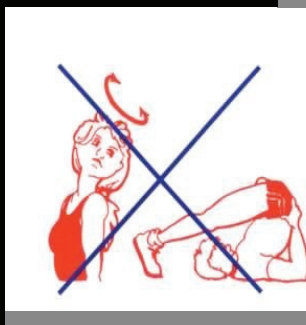
Flexión de tronco desplaza el núcleo pulposo hacia atrás.



- Contracción muscular para mantener el equilibrio.
- Peso del cuerpo descansa sobre las articulaciones.
- Excesiva tensión sobre cápsula, ligamentos, tendones.

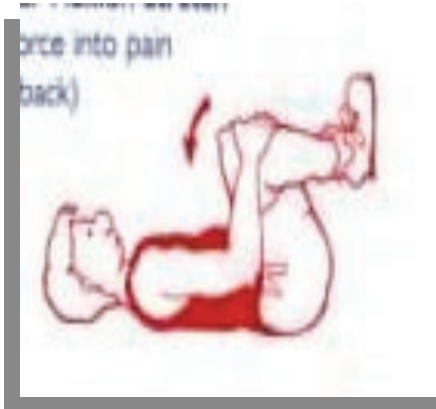


- Por encima de los 90 grados de flexión de rodilla:
 - ▶ Fuerzas muy altas sobre cápsula articular, ligamentos y tendones.
 - ▶ Posible lesión del cartílago



- Cuello: Estructura delicada que une cabeza y tórax.
- Nunca debe soportar el peso del cuerpo

EJERCICIOS RECOMENDADOS



- **Columna en posición fisiológica.**
- **Núcleo pulposos sin grandes desplazamientos.**
- **Músculos relajados.**



- **Columna en posición fisiológica.**
- **Articulación de la rodilla no soporta el peso del cuerpo.**
- **Cápsula articular, ligamentos y tendones sin tensión.**



- **Mano apoyada en rodilla evita la caída lateral del tronco.**
- **Músculo oblicuo relajado.**
- **Estiramiento posible.**

Las anteriores indicaciones tienen ciertas restricciones cuando se trata de entrenamiento en el deporte de alta maestría, pues las exigencias a las estructuras biológicas son mayores que en la actividad física o deporte para todos. Además, los deportistas de alto rendimiento poseen mayor capacidad asimilativa de cargas como resultado de los procesos de adaptación. En el acápite sobre actividad física y salud se amplían estas consideraciones.

Biomecánica Diferencial. El sexo y la edad en la motricidad

Se llama Biomecánica Diferencial (Donskoi 1988) al estudio de las particularidades de la motricidad atendiendo a los aspectos individuales y de determinados grupos de sujetos, según el sexo, las edades u otras consideraciones (Donskoi, 1988) entre las que pueden destacarse

- La constitución física y la motricidad
- Las particularidades de la motricidad en la mujer
- La ontogénesis de la motricidad
- La edad motora y el pronóstico de su desarrollo
- Las preferencias motoras (asimetrías, hemicuerpo dominante, tempo individual de ejecución del movimiento)

Consideraciones respecto al dimorfismo sexual

En las últimas décadas se ha alcanzado la igualdad de géneros en la mayoría de las disciplinas deportivas; no obstante, en algunos deportes, dadas las condiciones físicas que exigen, se encontrarán grandes diferencias en los rendimientos entre hombres y mujeres. Como se conoce, el sexo de cada individuo es genéticamente determinado, por la combinación cromosómica del par

23, lo que lleva a la necesidad de considerar el dimorfismo sexual, las diferencias en cuanto a constitución corporal y funcionalismo de cada atleta, según su sexo, como resultado de su genotipo y del efecto permanente de las hormonas sexuales:

Andrógenos: Gran efecto anabólico, síntesis proteica, aumento de la masa muscular y de la fuerza. Predominante función ergotrópica: movilizadora, activadora del trabajo corporal.

Estrógenos: Predominio de las funciones trofotrópicas: Acúmulo de tejido adiposo como reserva energética, irrigación sanguínea, promueve la recuperación, nutrición y laxitud de los tejidos.

Ambos grupos hormonales, presentes en todos los individuos, en distinta concentración, se complementan en su efecto biológico con diferente acentuación en cada sexo, lo que determina el dimorfismo sexual.

Algunas características diferenciales a considerar en la mujer deportista, comparando datos promedio poblacionales, son:

- La mujer es más delgada y de menor estatura, posee hombros más estrechos y pelvis más ancha, por lo que sus muslos son oblicuos con inclinación interna en la rodilla. Todo ello trae diferencias biomecánicas al realizar distintos movimientos, como la marcha y la carrera.

- La mujer posee mayor porcentaje de tejido adiposo en su composición corporal con respecto al peso total y en consecuencia menor proporción de masa corporal activa, es decir, masa ósea y muscular, lo cual influye en sus capacidades de fuerza.

- Por su tórax más estrecho, menor talla y menor fuerza muscular, la capacidad vital de la mujer es aproximadamente el 75% de la masculina, por ello sus posibilidades ventilatorias son menores y tiene menos ventajas para el consumo máximo de oxígeno y para el desarrollo de las capacidades de resistencia.

- Por otra parte, por su mayor laxitud en los tejidos conectivos, menor hipertrofia muscular y posiblemente por particularidades de la regulación y conducción nerviosa, se aprecia en la mujer una mayor amplitud en los movimientos (flexibilidad) así como mejores condiciones para la coordinación motriz: mayor destreza en la ejecución de los movimientos de precisión y de motricidad fina, con mayor ritmo y elegancia del movimiento.

No puede dejar de mencionarse la llamada “triada de la mujer deportista” (Lopez, citado por Leon, 2010) que es un síndrome caracterizado por:

- Trastornos menstruales (Oligomenorrea, amenorrea)
- Osteopenia (disminución de la densidad mineral del hueso y de la masa ósea en general)
- Desórdenes alimentarios (bulimia, anorexia, subalimentación) Aspectos a considerar en relación con la “triada de la mujer deportista”
- El signo más evidente es la amenorrea. Su incidencia es mayor en deportistas que en población general.
- En algunos equipos femeninos de deportistas de elite los trastornos menstruales alcanzan hasta un 100% para solo un 5% en población general.
- Este síndrome está claramente asociado a un bajo peso corporal, particularmente de masa grasa. Por ejemplo es más común en las remeras de peso ligero que en las de peso abierto.
- Constituye un problema típico de la gimnasia rítmica, donde el físico y el control del peso corporal es de suma importancia para el desempeño.
- También puede verse en deportes donde el exceso de peso puede constituir un lastre, como en la carrera de larga distancia.

La etiología de este síndrome se encuentra en factores predisponentes de carácter general, como son los genéticos, nutricionales, psicológicos, ambientales y particularmente las altas cargas físicas, que junto a factores endocrino- metabólicos, provocan cambios fisiológicos que llevan a la “Triada” entre las deportistas de alto rendimiento; por ejemplo, en las atletas de resistencia su prevalencia llega al 20 % .

Todo lo expuesto apoya la afirmación de que al estudiar la motricidad y sus bases morfo-biomecánicas, así como en el control del entrenamiento y la valoración de los rendimientos deportivos es obligada la atención diferenciada a la mujer.

El grado de desarrollo en niños y adolescentes. Su importancia en el deporte.

La práctica de actividades físico-deportivas en edades infantiles y juveniles está supeditada a un conjunto de factores de diverso orden, que deben ser conocidos por los profesores de Educación Física y los entrenadores en los distintos niveles; los funcionarios encargados de organizar los sistemas de selección para las distintas disciplinas deportivas, así como por los que realizan el control del entrenamiento en las Escuelas de Iniciación Deportiva, particularmente, los médicos especialistas en Medicina del Deporte.

En el orden biológico ha de considerarse que el niño o adolescente no es un “adulto en miniatura” pues en su organismo tienen lugar los más complejos procesos de crecimiento y desarrollo, los que a su vez, determinan en gran medida la capacidad de rendimiento físico.

Crecimiento y desarrollo se manifiestan a partir de la estructura e información genética del individuo, pero no de forma automática ni aislada, sino en constante interacción y adaptación orgánico-ambiental.

En este sentido tienen importante influencia estimuladora y modificadora las acciones planificadas y dirigidas del proceso educativo-formativo, incluidos la Educación Física y el Entrenamiento.

En Pediatría y Auxología se establece que crecimiento es el aumento de las dimensiones corporales, en particular las longitudinales, y que ello es resultante de la multiplicación celular y la aposición de sustancia intercelular. En cambio, desarrollo se refiere al avance en la madurez de las estructuras y funciones orgánicas, asociado al crecimiento. En realidad no es posible una distinción precisa entre crecimiento y desarrollo, es por ello que emplear los dos términos en conjunto proporciona una idea más amplia e integradora que su uso por separado. Ambos procesos ocurren simultáneamente, aunque en un momento dado puede existir desarrollo, maduración, con pocos cambios de tamaño, o crecimiento rápido sin notable diferenciación funcional.

En el crecimiento y desarrollo somático influyen factores intrínsecos y extrínsecos (endógenos y exógenos) en una relación dinámica. Entre los factores intrínsecos se cuentan los genéticos, metabólicos, hormonales y

neurógenos. Los factores extrínsecos o ambientales se refieren a los aspectos nutricionales, higiénicos, patológicos o traumáticos y a la actividad física que realice el niño, entre otros, destacándose los de carácter social.

Al evaluar la capacidad de rendimiento físico de un alumno, de un atleta, en edades infantiles y adolescentes deben tomarse en cuenta las leyes y regularidades del proceso de crecimiento y desarrollo. Entre los postulados fundamentales de Auxología se señalan los siguientes: (León, 2010).

1. El crecimiento y el desarrollo están programados genéticamente, pero la influencia de la herencia determinada sólo el plan general de su evolución. La realización definitiva del programa genético depende sustancialmente de las incidencias del medio externo.
2. El crecimiento y el desarrollo se producen en una sola dirección y consiste en el transcurso sucesivo e irreversible de las distintas fases (períodos) de la vida. Los cambios debidos a la edad revisten un carácter irregular: períodos de desarrollo acelerado alternan con períodos de desaceleración y de estabilización relativa.
3. El desarrollo individual se produce con diferencia en el tiempo, en forma heterocrónica; es decir, los distintos órganos y sistemas se forman, crecen y maduran en plazos diferentes. En algunos períodos de la vida, por ejemplo en la pubertad, la heterocronía puede acentuarse, existiendo diferencias individuales en la velocidad y ritmo del crecimiento y desarrollo.
4. La influencia de los factores hereditarios y ambientales varía con la edad. En los primeros años de la vida, así como en el período puberal se eleva la sensibilidad del organismo al influjo de los factores del medio exterior, en particular a los de incidencia negativa (factores de riesgo)
5. El efecto de la influencia de los factores extrínsecos depende de su fuerza. Los estímulos débiles no ejercen una influencia sustancial en el organismo, los fuertes pueden frenar el desarrollo. El mejor efecto lo ejercen los estímulos medios (óptimos).
6. La acción del medio externo sobre el desarrollo biológico, a su vez, depende de la norma de reacción del organismo, la cual es rigurosamente individual. La norma de reacción se determina por la edad, el sexo, las

particularidades individuales, el grado de entrenamiento entre otros factores.

7. En las distintas etapas del desarrollo individual (ontogenia) varía la correlación entre los aspectos del metabolismo y del recambio energético: en la infancia, en el periodo de formación y crecimiento del organismo, prevalecen los procesos de asimilación (anabolismo) sobre los procesos de desasimilación (catabolismo) produciéndose un recambio más intensivo de sustancias y de energía.

8. Con la edad se modifica el carácter de la regulación nerviosa y humoral de las funciones orgánicas, así en las etapas tempranas del desarrollo predomina la influencia simpática (por ejemplo más alta frecuencia de las concentraciones cardíacas). A medida que se desarrolla el organismo se acentúa la tendencia vagotónica.

9. En el transcurso del proceso de crecimiento y desarrollo se manifiestan diferencias entre los sexos (dimorfismo sexual). Por lo regular, las niñas culminan el proceso de crecimiento y desarrollo más rápido que los varones.

10. Los niños y adolescentes, al encontrarse en pleno proceso de crecimiento y desarrollo, son extraordinariamente sensibles a la acción del ambiente externo, en particular el ambiente psicosocial y la educación, considerando esos factores se puede orientar la formación de la personalidad y los procesos de iniciación y perfeccionamiento físico-deportivo.

En el desarrollo ontogénico (individual) se describen, para su estudio, ciertas fases que se suceden unas a otras a lo largo del proceso, como serie sucesiva y gradual de transformaciones morfo-funcionales. En esta descripción se enmarcan etapas, períodos y estadios de desarrollo, conformando esquemas, de los cuales se refieren numerosas variantes en la bibliografía. La división didáctica y convencional del ciclo vital del hombre se denomina periodización del desarrollo. Independientemente del sistema que se utilice, debe considerarse que son resultado de la generalización de los procesos observados en grandes conjuntos de individuos y que su información no puede ser aplicada rígidamente al analizar a cada sujeto, debido a la gran

variabilidad de los rasgos físicos y psíquicos en la especie humana dentro de un rango determinado, por tanto, se encontrarán diferencias marcadas entre individuos en etapas, períodos y estadios de desarrollo similares.

En el ámbito de la Biomedicina Deportiva es necesario tomar en consideración, además, los períodos sensibles y fases críticas del desarrollo. Todas las capacidades motrices son entrenables a cualquier edad; no obstante, en la ontogenia varía ampliamente el grado de entrenabilidad de cada una. Se denomina período sensible a limitados lapsos del desarrollo humano en los cuales reaccionan más intensamente a determinados estímulos externos, alcanzando positivos efectos en la evolución individual. Estos son períodos de muy buena entrenabilidad, siendo la efectividad del entrenamiento especialmente alta. Estos períodos coinciden precisamente con aquellos en que la base orgánico-estructural para las cualidades motrices experimenta mayor progreso, o sea, se encuentra en plena actividad de desarrollo biológico, cuando las células y tejidos están más acondicionados para el crecimiento y la diferenciación, con un incremento en la irrigación sanguínea y el aporte nutricional por predominio del metabolismo anabólico.

Una fase crítica es un margen de tiempo aun más delimitado dentro de un período sensible, en que de forma imprescindible deben actuar estímulos externos específicos para lograr los efectos de desarrollo deseados.

Para el Profesor de Educación Física, el Entrenador y el Médico del Deporte es una condición importante el reconocer los periodos sensibles y fases críticas para cada capacidad física y sus bases orgánicas, con el objetivo de seleccionar los medios más adecuados e incorporarlos metodológicamente de forma correcta, evitando interferir el normal proceso de crecimiento y desarrollo o provocar lesiones; téngase en cuenta, por ejemplo, una serie de diferencias esqueléticas dadas por la edad: (Brukner citado por León 2010)

Algunas diferencias anátomo-funcionales entre el hueso joven y el esqueleto adulto a considerar en la planificación del entrenamiento son las siguientes:

- 1) Cartílago articular del hueso en crecimiento es más grueso y admite remodelación.

- 2) Zona entre epífisis y placa metafisiaria vulnerable a rupturas, sobre todo por fuerzas transversales o diagonales.
- 3) Sitios de inserción tendinosa que presentan núcleos cartilaginosos (centros secundarios de osificación) constituyen puntos débiles de sujeción y predisposición al arrancamiento.
- 4) Diáfisis en los niños más elástica, resistente a grandes deflexiones y predisposición a fracturas en "Tallo Verde".
- 5) En fases de crecimiento rápido (Estirón puberal) aumenta la longitud de los huesos antes que músculos y tendones puedan responder con la necesaria fuerza a tensiones y estiramientos. Deficiente coordinación neuromuscular para el control y desplazamiento de los huesos más largos (torpeza en los movimientos).

Lo anterior se ratifica cuando se analiza que por una misma causa o mecanismo, se producen lesiones diferentes, según se trate de un adulto o un niño.

LESIONES POR MECANISMOS SIMILARES EN ADULTOS Y NIÑOS			
SITIO	MECANISMO	LESION-ADULTO	LESION-NIÑOS
Mano	Golpeo en Boxeo	Fractura en cabeza de metacarpiano	Fractura metáfisis y epífisis metacarpo
Hombro	Caída sobre ángulo del hombro	Esguince art. acromioclavicular	Fractura epífisis y metáfisis distal de clavícula
	Abducción y rotación externa forzadas	Luxación del hombro	Fractura epífisis y metáfisis proximal del húmero
Cadera y Muslo	Tracción brusca de músculos flexores o extensores	Distensión del m. cuadriceps crural	Apofisitis o arrancamiento de espina iliaca ant. superior
		Distensión en región Poplítea	Apofisitis truberosidad isquialtica
Rodilla	Lesión por sobreuso	Tendinitis patelar	Síndrome Osgood-Slatter

(Tomado de Brukner citado por León 2010)

Es de uso generalizado tomar edad cronológica de los alumnos como punto de partida para organizar los grupos de entrenamiento, establecer las categorías competitivas, así como para efectuar la selección de sujetos aptos para la práctica de determinados eventos deportivos.

La edad cronológica se refiere, como es sabido, al tiempo transcurrido desde el nacimiento hasta un momento dado en la vida de un individuo, es decir, la duración temporal de la interrelación entre organismo y medio ambiente, expresado en años, meses y días, quedando así obviado al tiempo de vida correspondiente a la etapa pre-natal, a la cual conferimos relevante importancia. Además la edad cronológica, por sí sola, no brinda información sobre la medida de las variaciones reales, individuales, del organismo y su adaptación por la interrelación orgánico-ambiental; la edad cronológica no dice mucho sobre las diferencias individuales en tiempo, ritmo o medida del desarrollo. Los niños y adolescentes son agrupados y evaluados así, según el promedio de su grupo de edad. Puesto que el grado de desarrollo físico del individuo no siempre coincide con su edad cronológica, se corre el riesgo de sobrestimar las condiciones físicas del sujeto cuyo desarrollo biológico sea acelerado y que producto de ello alcance mejores rendimientos que el conjunto de sus contemporáneos o por el contrario, se aplican determinadas cargas físicas en el entrenamiento a un grupo de alumnos de igual edad sin considerar que pueden encontrarse entre ellos sujetos de desarrollo físico más lento o retardado que el promedio, para quienes dichas cargas representan altas exigencias, inadecuadas desde el punto de vista morfo - funcional.

Se hace necesario, a partir de los conocimientos aportados por los estudios auxológicos, aplicar métodos que permitan evaluar la edad biológica o edad del desarrollo de niños, adolescentes y jóvenes, entendiendo por edad biológica el nivel de maduración alcanzado por el organismo como una unidad, como un todo único y por extensión el grado de madurez de cada uno de los sistemas que lo forman. Los conceptos "Madurez" "Edad Biológica o Fisiológica" en relación con la "Edad Cronológica" (edad calendario, del almanaque) son importantes para comprender los acontecimientos anatómicos, fisiológicos y bioquímicos que tienen lugar durante el desarrollo humano.

El nivel de desarrollo biológico logrado puede expresarse mediante el análisis de diversos indicadores morfológicos y funcionales entre los que se encuentran los valores de la estatura y otras magnitudes antropométricas (dimensiones y proporciones corporales); el sistema dentario, los plazos en que se efectúa el cambio de los dientes primarios por dientes permanentes y las características del desarrollo dental y máxilo-facial (Edad Dental); el grado de desarrollo de los distintos indicadores de maduración sexual: en las hembras se considera la edad de la primera menstruación o menarquía, el desarrollo de las glándulas mamarias y la distribución del vello púbico y axilar; en los varones se aprecia el desarrollo de los genitales externos y la distribución del vello púbico, axilar y facial. Un indicador objetivo del desarrollo individual es el grado de maduración esquelética o edad ósea, medida de cuánto han madurado los huesos, no sólo el tamaño alcanzado, sino su forma y composición; es decir, las transformaciones que llevan desde los patrones membranosos y condrales iniciales hasta el esqueleto osificado del individuo adulto, lo que se analiza a través de estudios radiográficos.

Otro indicador del grado de desarrollo biológico individual está dado por la edad neurológica, muy asociada a la edad motriz por su información sobre el nivel de maduración del sistema nervioso y de sus conexiones sensomotrices con los órganos de la locomoción, en particular las relaciones neuro-musculares. Se ha demostrado que la actividad motriz, la actividad refleja y la actividad bioeléctrica del sistema nervioso siguen normas definidas en su desarrollo para cada etapa, período y estadio del desarrollo, tanto intrauterino como postnatal, siendo los reflejos, el tono muscular, la movilidad, la reactividad y el comportamiento sensomotor algunos de los indicadores de la edad neurológica; importantes factores, a su vez, para el desarrollo de las cualidades motrices, bases de la ejecutoria físico-deportiva.

El grado de desarrollo físico y funcional, como indicador de edad biológica, puede determinarse por diversos métodos que, en línea general se dirigen a analizar tres aspectos del desarrollo:

- Procesos de osificación del esqueleto, (análisis radiológicos de los huesos del niño).

- Procesos de maduración sexual; (observación de los rasgos sexuales secundarios, registro de la edad de menarquía).
- Variaciones regulares de las proporciones corporales (relación entre dimensiones corporales, por mediciones antropométricas).

La confiabilidad de cualquiera de estos métodos permite su utilización individual de acuerdo a las posibilidades y a los objetivos que se persigan. Lógicamente, la seguridad de los resultados aumenta cuando se utilizan combinados dos de éstos métodos o los tres con una misma población o muestra.

En el marco de la Educación Física y el Deporte, un primer acercamiento para determinar la edad biológica de los niños y adolescentes incluidos en grupos de entrenamiento, así como para garantizar una selección de talentos más confiable, es la aplicación de los métodos que se refieren al análisis de las variaciones proporcionales de cuerpo y que se basan en la toma de medidas antropométricas y su procesamiento matemático dada la seguridad estadística de estos métodos, que es similar a la ofrecida por las determinaciones de edad ósea y maduración sexual y porque además brinda las facilidades metódicas de un reducido gasto material, ahorro de tiempo y equipamiento poco complicado, así como la objetividad de las medidas antropométricas.

Como indicador antropométrico que permite valorar el grado de desarrollo corporal en niños y jóvenes, se destaca el Índice de Desarrollo Corporal (I.D.C.) elaborado por Wutscherk (citado por León, 2010) cuya aplicación práctica ha sido comprobada por varios autores. En este índice se incluye un conjunto de medidas antropométricas cuyo desarrollo y relaciones entre sí (proporciones) son dependientes de la edad. Los valores del I.D.C. se encuentran en 0,50 en la etapa escolar temprana, ascendiendo hasta valores alrededor de 1.00 en adultos.

El I.D.C. se ha utilizado por distintos investigadores a partir de las modificaciones introducidas por Siret (citado por León, 2010). Este investigador propone además, ecuaciones de predicción de la edad biológica individual basándose en la correlación entre la edad ósea y el I.D.C. en el cual se consideran las proporciones entre peso, estatura, diámetro del tronco (hombros y caderas) y circunferencias de antebrazo en los

varones y del muslo en las niñas. Todo ello es objeto de las investigaciones cineantropométricas, con amplias posibilidades de aplicación en los procesos de selección de talentos.

Apuntes acerca de los “talentos deportivos”

La mayoría de los niños y adolescentes participan de forma espontánea en juegos y otras actividades físicas, así mismo, los sistemas pedagógicos contemplan la educación física y/o el deporte como parte del currículo. Por estas vías se hace posible que los individuos en edades de crecimiento reciban la influencia positiva del ejercicio, tanto para su desarrollo físico como para su salud mental, contribuyendo a una mejor calidad de vida; sin embargo en el ámbito del deporte elite (de alto rendimiento), la tendencia actual es la iniciación y especialización deportiva a edades cada vez más tempranas y la consiguiente incorporación de niños y adolescentes en pleno periodo de crecimiento y desarrollo a programas de entrenamiento sistemático, con fuertes exigencias de esfuerzos físicos y psíquicos, gran empleo de tiempo y elevadas metas competitivas. En numerosos países, Cuba entre ellos, existen escuelas donde se concentran, previa selección, los niños y adolescentes dotados de aptitudes para deportes específicos con el fin de garantizar el desarrollo del entrenamiento programado a la par de su formación educativa general. Son las escuelas de “talentos” las que constituyen la cantera de futuros deportistas de alto rendimiento, conocidas como Escuelas de Iniciación Deportiva (EIDE).

Se hace necesario un seguimiento biomédico de los alumnos de la EIDE, que avale su estado de salud y las adaptaciones morfo funcionales que deben ocurrir en el organismo como respuesta a las cargas de entrenamiento, partiendo de un examen médico inicial para descartar afecciones orgánicas, desviaciones esqueléticas posturales o deficiencias nutricionales; debe existir un plan profiláctico de lesiones deportivas y la evolución de los resultados de las pruebas biomédicas, de laboratorio y terreno, integradas con las evaluaciones pedagógicas realizadas por el entrenador.

El proceso de búsqueda e identificación de “talentos deportivos” se justifica por el constante incremento de las exigencias competitivas y el

comienzo cada vez más temprano de la especialización en el deporte, que conlleva a la disminución de las edades de máximo rendimiento.

A partir de conceptos expresados por diversos autores, citados por León (2010) y Navarro (2007), se puede entender el Talento Deportivo como una determinada combinación de las capacidades motrices y las cualidades psicológicas, junto a indicadores anátomo-fisiológicos (desarrollo físico), que aportan, en conjunto la posibilidad potencial para el logro de altos resultados en un deporte o evento específico. Evidentemente, el talento depende en buena medida, de la dotación genética y de la norma de reacción individual; sin embargo, poseer talento no equivale a alcanzar el performance deportivo. Del talento no depende el éxito, sino solo la posibilidad de alcanzarlo (Zatsiorski, 1989).

El punto de partida para cualquier proceso de selección será:

La determinación de las características modelo de cada deporte
 La posibilidad del diagnóstico y el pronóstico de esas características con la mayor exactitud, desde edades tempranas

Estas son tareas de la investigación científica en el campo del deporte, especialmente, en la iniciación deportiva, considerando que el lapso para cada etapa de la vida deportiva varía en dependencia del tipo de deporte:

Etapas de la vida deportiva	Edad (años)
Iniciación (Deporte Infantil, Escolar)	de 4-6 a 11-12
Especialización y perfeccionamiento (Deporte Juvenil)	de 12-13 a 16-17
Alto Rendimiento (Deporte Social, I Categoría)	17-18 años en adelante

En la promoción, detección, selección y desarrollo del talento, la Biomedicina del Deporte debe cumplir importantes funciones que permitan, junto a otras ciencias, diagnosticar la aptitud y pronosticar la estabilidad individual futura de los indicadores del modelo del deportista, detectados a

edades tempranas. Las características del “niño talento” deben ser estables durante el periodo de posible predicción; medibles en las edades infanto-juveniles y relevantes para el rendimiento (indicadores del modelo)

Junto a otros elementos del modelo, se destacan el desarrollo psicológico y las particularidades del desarrollo físico (indicadores somatométricos y funcionales) en su relación con la edad cronológica y biológica, lo que deberá ser controlado de forma oportuna, continua e integradora, ya que el talento no se define en un solo momento, ni por una sola capacidad o una determinada condición, sino por la interrelación y complementación de todas éstas, bajo la influencia medioambiental y el efecto sostenido del entrenamiento.

Desarrollo físico y capacidad de fuerza en la iniciación deportiva

En el proceso pedagógico de educación integral de las nuevas generaciones, la formación de la personalidad se apoya, entre otros pilares, sobre un armónico desarrollo físico y de las capacidades de rendimiento del individuo; esto se lleva a cabo en constante interacción con el medio natural y social a partir de la estructura genético-hereditaria del hombre, como ente biopsicosocial.

El concepto de desarrollo físico, asociado a los fenómenos de crecimiento y desarrollo, se analiza desde dos ángulos no opuestos, sino complementarios: Desarrollo físico es tanto el proceso de progresión de los índices morfo- funcionales de acuerdo a la edad, como el estado que caracteriza un nivel de madurez alcanzado. Así este complejo sistema de indicadores de la actividad vital permite valorar el proceso de cambios progresivos en la estructura y funciones orgánicas y el estado resultante de tales cambios, en cualquier momento de la ontogenia.

El niño o adolescente no puede compararse ni menos igualarse con el adulto al evaluar su capacidad de rendimiento físico; para ello deben considerarse las leyes y regularidades del proceso de crecimiento y desarrollo, a lo largo del cual se producirán cambios de dimensiones, proporciones, complejidad, naturaleza, posición, forma, composición y funciones de todas las estructuras orgánicas.

Es necesario insistir en que no todos los individuos crecen y se desarrollan a un mismo ritmo. Es primordial reconocer en un conjunto de alumnos de igual edad cronológica e incluso, del mismo sexo:

- Sujetos de desarrollo normal (promedio)
- Sujetos de desarrollo precoz (acelerado)
- Sujetos de desarrollo lento (retardado)

Los dos últimos grupos no constituyen estados patológicos; de ahí la importancia de atender a la relación entre edad cronológica y edad biológica (León, 2010).

Lo anterior conduce a la cuestión de en qué medida se relaciona el grado de desarrollo biológico alcanzado con la capacidad de rendimiento físico - deportivo. Se puede aseverar que:

- Diferencias en la edad biológica **determinan** el grado de desarrollo de las características corporales.
- Diferencias en la edad biológica **influyen** en el grado de desarrollo de las capacidades motrices, que son la base de la capacidad de rendimiento físico.
- Diferencias en la edad biológica **deciden** el nivel del rendimiento deportivo y con ello en la estructura de edades de cada deporte.

Diversos métodos, incluyendo los de la antropología biológica, hacen posible diferenciar el grado de desarrollo individual, que también reflejará las particularidades del dimorfismo sexual, dadas por el genotipo y la regulación hormonal, que se pondrán de manifiesto en todos los indicadores del desarrollo físico.

El rendimiento físico-deportivo y sus bases, las capacidades motrices, tienen a la musculatura como órgano efector. Evidentemente, la fuerza muscular es la esencia de cualquier movimiento y se manifiesta en la ejecutoria deportiva de modo particular. Es en la musculatura estriada esquelética donde se consume hasta un 90% de la energía orgánica durante un trabajo corporal de intensidad máxima.

Algunos aspectos relacionados con el desarrollo de la musculatura y de la fuerza en los niños y adolescentes y sus implicaciones en el trabajo del profesor de educación física, el entrenador y el médico deportólogo se exponen a continuación.

El crecimiento de la masa muscular durante la niñez presenta un relativo retraso respecto al crecimiento corporal, se observa que al nacimiento la masa muscular constituye el 23 % de la masa corporal total; a los 15 años de edad el tejido muscular representa el 33%, aumentando hasta 44% a los 18 años. En los adultos esta proporción se mantiene alrededor del 42% del peso corporal; estos datos son estimados como promedio para el sexo masculino.

Está comprobado que el desarrollo del músculo depende en gran medida de la secreción de hormonas sexuales, específicamente los andrógenos (hormonas masculinas) por su efecto anabólico. Junto a este factor intrínseco, se destaca la actividad física como estímulo determinante para el aumento de la masa muscular. El crecimiento del músculo está acompañado de la diferenciación de las fibras musculares. En el recién nacido las fibras poseen pequeño diámetro y contienen pocas miofibrillas. Durante los tres primeros años aumenta el número de miofibrillas en 4 a 5 veces y hasta los 7 años de edad se incrementa en 15 a 20 veces. Durante la adolescencia crecen intensamente todos los elementos estructurales del músculo.

Distintas investigaciones han demostrado que la proporción entre los tipos de fibras tiene poca variación en el decursar hasta la adultez ya que la proporción entre fibras lentas y rápidas esta genéticamente determinada. La musculatura esquelética del recién nacido se conforma predominantemente de fibras de contracción lenta y de un gran porcentaje de fibras indiferencias que durante el primer año se reducen a solo un 2 %. A los 11-13 años en varones puede hallarse en el músculo cuádriceps una relación de 55 % de fibras lentas y 45 % de fibras rápidas (Tittel, 1996)

Paralelo a este aumento de volumen y diferenciación celular, aumenta la capilarización y la ramificación de fibras nerviosas intramuscular. La inervación aferente (sensitiva propioceptiva) alcanza la organización definitiva ya a los 7-8 años, mientras la inervación motora (eferente) logra su nivel adulto ya a los 11-13 años de edad.

Simultáneamente al propio desarrollo del tejido muscular se estructuran y organizan los componentes conectivos del músculo incluyendo fascias y tendones.

Sobre la base de las proporciones entre tipos de fibras antes señaladas y por los resultados de investigaciones sobre la actividad enzimática puede

inferirse que los niños, en todos los períodos del desarrollo, poseen una capacidad de transformación energética oxidativa relativamente alta como sustento biológico de la resistencia, de tal manera que su ejercitación mejorará la capacidad metabólica aerobia en la musculatura al aumentar el contenido de mitocondrias, la cantidad de enzimas y la mioglobina.

Por el contrario, la hipertrofia y la adaptación a las cargas del metabolismo anaerobio en el músculo esquelético muestran cierta dependencia respecto a la maduración biológica. En las edades escolares tempranas es pobre su expresión y son poco entrenables. Durante la pubescencia y en la adolescencia aumentará la efectividad de las cargas físicas dirigidas al desarrollo de la masa muscular y de la capacidad anaerobia.

La frecuencia del movimiento alcanza su mayor incremento en la edad escolar temprana y sus valores máximos hacia el final de la infancia. La coordinación intra e intermuscular se irá optimizando desde la etapa preescolar hasta la edad escolar temprana, en relación con los procesos generales de crecimiento y maduración.

En la adolescencia el desarrollo de la coordinación será tanto más efectiva cuanto mayores sean las experiencias de movimiento acumuladas y su variabilidad.

La dinámica del desarrollo neuromuscular es condición esencial para el fomento de la resistencia, la rapidez, la fuerza y la coordinación motriz en las edades escolares.

Con respecto a la fuerza máxima, su incremento y entrenabilidad estarán en dependencia de las transformaciones orgánicas antes señaladas, debido a la regulación hormonal con acento de los andrógenos circulantes, incluyendo el aumento de la masa muscular, la diferenciación por tipo de fibra muscular y las modificaciones de las capacidades energéticas.

En la edad escolar temprana existen diferencias poco significativas de la fuerza máxima a favor de los varones. Alrededor de los 13 años las diferencias en los valores de fuerza entre ambos sexos se harán más evidentes a consecuencia del aumento marcado en los muchachos, no así en las adolescentes; en la progresión de este indicador, los adultos jóvenes alcanzan rangos de fuerza máxima entre 20 y 40 % superiores a los de la mujer. Las razones biológicas de estas diferencias se encuentran en el marcado

desarrollo y diferenciación de la masa muscular durante la pubertad en el varón, junto a la marcada tendencia al acúmulo de grasa en el tejido adiposo en las muchachas, en detrimento de la proporción de masa corporal activa que conllevan a relaciones de palancas de movimiento desventajosas desde el punto de vista biomecánico en el sexo femenino. Considerando que los períodos de aceleración de los procesos de crecimiento y maduración propician el aumento de la capacidad de asimilación de cargas en el organismo, o sea, la posibilidad del individuo de realizar grandes esfuerzos en el entrenamiento y la competencia, sin sufrir daño orgánico, se supone que el adiestramiento de la fuerza máxima y la resistencia a la fuerza resultará muy efectivo al final de la pubescencia y especialmente durante la adolescencia. Diversas investigaciones han demostrado que un entrenamiento fundamentado metodológicamente puede provocar significativos incrementos de la fuerza en los varones a partir de los 14 años y en las niñas desde los 12 años, ello confirma la relación entre la entrenabilidad de la fuerza y la producción de hormonas anabólicas en las etapas adolescentes y juveniles, destacándose la mayor efectividad del entrenamiento de fuerza máxima cuando el nivel de andrógenos en sangre y su suministro a los tejidos es suficientemente alto.

Muy vinculado a lo anterior, es necesario, en las edades infantiles y adolescentes atender a los procesos de osificación, maduración y crecimiento esquelético, es decir, las transformaciones que llevan desde los modelos membranosos y condrales en los primeros estadios de la vida hasta el esqueleto osificado del individuo adulto. Así, por ejemplo, fuertes tracciones musculares sobre las apófisis incompletamente osificadas pueden provocar desprendimiento apofisiario.

Un entrenamiento de fuerza bien organizado, que considere las particularidades del desarrollo biológico individual y las diferencias en los plazos de recuperación y adaptación de la musculatura, por una parte y de las estructuras esquelético-articulares por otra, puede resultar beneficioso para los alumnos, desde las edades preadolescentes mediante una idónea supervisión y técnica correcta en la ejecución, incluido el trabajo con pesas, se previenen las lesiones y se alcanzan los efectos positivos del desarrollo de la fuerza lo que repercute en la estabilidad articular y llega a convertirse en

un medio de profilaxis de lesiones y malformaciones esqueléticas. Al mismo tiempo, el aumento de la fuerza en estas edades contribuye a un positivo efecto psicológico al elevar la confianza en sí mismo y la autoestima del adolescente.

Recomendaciones para el desarrollo de la fuerza

A continuación se exponen algunas recomendaciones para el desarrollo de la fuerza en edades infantiles y juveniles, basadas en la revisión de diversos autores citados por León (2010).

- **Atender** a los principios generales de la aplicación de las cargas en el entrenamiento, válidos también para la clase de educación física, entre ellos: calentamiento activo de todas las estructuras mio-esquelético - articulares al inicio de la clase o unidad de entrenamiento, lo cual estimula el resto de la actividad metabólica; individualización de las cargas: atender a posibles discrepancias entre edad biológica y cronológica; desarrollo multilateral de la fuerza, evitar sobrecargas unilaterales; elevación gradual y sistemática de las cargas; equilibrio entre carga y recuperación: relación trabajo - descanso; dominio de la técnica correcta en el ejercicio, que se aprenderá con poco peso.
- **Trabajar** de forma predominante en el desarrollo de la fuerza general. El entrenamiento de la fuerza especial será posterior y con aumento paulatino de las cargas. Muy cuidadosa dosificación de los nuevos ejercicios de fuerza. Un incremento marcado del peso de los implementos será beneficioso sólo después de alcanzado el “estirón puberal” en la estatura.
- **Propiciar** la “descarga” de la columna vertebral mediante ejercicios en posición sentado o acostado, con el tronco correctamente apoyado, especialmente en la región lumbo-sacra; debe evitarse la sobrecarga y la hiperlordosis a ese nivel.
- **Fortalecer** permanentemente a la musculatura vertebral y plantar, así como todos los planos musculares que garantizan la función de apoyo. Atender a la prevención de efectos posturales o su compensación si ya están presentes.

- **Evitar** flexiones profundas en rodillas con y sin pesos (por ejemplo: cuclillas) como profilaxis de lesiones en esa articulación y en la tuberosidad tibial anterior.
- **Incorporar** ejercicios de estiramiento (distensión, stretching), compensatorios del trabajo contráctil prolongado, como medida profiláctica del acortamiento muscular.
- **Suspender** el entrenamiento de fuerza ante indicios de fatiga o dolor en músculos, tendones y ligamentos.
- **Combinar** ejercicios de fuerza dinámica e isométrica, con predominio de los primeros.
- **Evitar** ejercicios con resistencias extremas al movimiento, en posiciones corporales extremas y ejercicios de fuerza a altas velocidades.
- **Atender** a desbalances musculares por acortamiento de unos músculos y debilitamiento de otros (relación sinergistas - antagonistas).
- **Orientar** el uso de vestuario y calzado adecuados, así como medios de protección y de profilaxis de lesiones.
- **Considerar** en la planificación de las cargas, las superficies donde se ejecutan los ejercicios durante las clases de Educación Física, los entrenamientos y las competencias: asfalto, cemento, hormigón, arcilla endurecida pueden ser origen de microtraumas y lesiones por sobreuso.
- **Velar** por el desarrollo multilateral de todas las capacidades motrices, no sólo la fuerza, aún ante la inevitable tendencia a la especialización deportiva temprana.

Capítulo 4

Reflexiones morfofuncionales sobre la actividad física para la salud

Introducción

Una buena “forma física” es lo más importante para prevenir las lesiones del sistema locomotor, a la vez que será elemento profiláctico de enfermedades crónicas, entre las que destacan la artrosis, la obesidad y la diabetes; la hipertensión arterial, la aterosclerosis y sus secuelas: enfermedad coronaria, infarto del miocardio y enfermedades cerebro vasculares.

El entrenamiento físico general es el proceso que, practicado en forma regular y progresiva, busca alcanzar adaptaciones biológicas que permitan mejorar el desarrollo de las diferentes capacidades físicas a fin de lograr el máximo grado de rendimiento, conduciendo a la denominada “Forma física”, concepto que de alguna manera coincide con el de Fitness, que según Martin (2001) es, más allá de la salud, un estado de rendimiento psico-físico que la persona se propone alcanzar conscientemente, mediante la actividad física sistemática, la alimentación selectiva y una actitud vital y sana que influya en sus hábitos y estilo de vida.

Manifestaciones del entrenamiento físico general son:

- El calentamiento y la recuperación
- El entrenamiento específico y de la técnica
- El entrenamiento de prevención y rehabilitación

El calentamiento prepara el organismo para desarrollar la actividad física; permite una mejor precisión en la ejecución de los gestos y optimiza la coordinación. Debe incluir sesiones de estiramiento y ejercicios generales, que eleven la movilidad articular, la frecuencia cardíaca y la temperatura corporal; las tareas de calentamiento se realizan al inicio de toda sesión de actividad física programada. La recuperación engloba actividades que propician la transición hacia el estado de reposo después de realizar una carga de trabajo físico, también puede incluir sesiones de estiramiento y relajación general que disminuyan la frecuencia cardíaca a los niveles basales; las tareas de recuperación se realizan al final de toda sesión de actividad física programada.

El entrenamiento específico y de la técnica busca perfeccionar la ejecución de los movimientos y los gestos deportivos. Permite la realización de los movimientos bien controlados y bien ejecutados. Es propio de la preparación deportiva con fines de competencia, no sólo en el alto rendimiento, sino también en el llamado Deporte para Todos o Deporte de ocio y recreación.

El entrenamiento de prevención y rehabilitación procura elevar la tonificación muscular; la movilidad articular y la flexibilidad en sentido general, así como los procesos de coordinación y propiocepción; además se encamina al desarrollo de la resistencia general, de las capacidades aerobias por su influencia en la función cardiorrespiratoria; se organiza a partir de programas específicos para aquellas personas que padecen determinadas enfermedades o para determinados grupos poblacionales, como son las mujeres embarazadas, la gimnasia con el niño, la Educación Física Escolar y las actividades físicas con adultos mayores.

La fuerza y la flexibilidad en la actividad física para la salud

Al igual que en otras esferas del trabajo de la Cultura Física y el Deporte, en la relación ejercicio físico-salud, debe primar el concepto del desarrollo físico armónico y multilateral, por lo que se buscará una combinación óptima en el desarrollo de las cualidades motrices, en dependencia de la edad, el sexo y el estado general de salud o de la afección específica, en el caso de pacientes atendidos por prescripción de ejercicios terapéuticos.

No obstante, en este intento didáctico de dar un orden de importancia al desarrollo de las capacidades físicas (motrices), se pretende en este acápite caracterizar el valor del entrenamiento de la fuerza y la flexibilidad en los programas de Cultura Física en relación con la promoción de salud y en el ámbito más especializado de su efecto terapéutico y rehabilitador.

Al plantear un orden de importancia en el desarrollo de las cualidades físicas respecto a la salud, el primer lugar estaría ocupado por la Resistencia. Los efectos fisiológicos y médicos de los ejercicios de resistencia son bien conocidos y probados.

Los programas actuales de entrenamiento orientados a la promoción de salud y el "Fitness" se basan, esencialmente, en el desarrollo de las cualidades de resistencia aerobia, por la influencia positiva sobre los órganos de la cadena metabólica pulmones - corazón y circulación - tejidos corporales, así como sobre los órganos de los sistemas reguladores e integradores (sistemas nerviosos y endocrino).

En orden de importancia le seguiría la Fuerza, aunque tal vez, esto no sea aceptado aún de una forma tan evidente y requiera de mayor confirmación científico - investigativa. Estudios realizados por Hdez. Corvo (2010) indican la necesidad de mejorar la función y estabilidad articular, sobre todo en columna vertebral; lesiones y enfermedades vertebrales, alteraciones de la postura corporal y rigidez prematura en las articulaciones ocupan un espacio importante en el cuadro general de morbilidad poblacional y entre las causas de invalidez e incapacidad laboral temprana. A esta problemática no escapa la osteoporosis, por pérdida de masa ósea y disminución de la densidad mineral del hueso, que tiene, entre otras causas, la falta de cargas incidentes sobre el esqueleto, por el pobre efecto de las fuerzas y tensiones musculares debido al sedentarismo o hipodinamia.

La integridad morfológica y funcional de la columna vertebral depende en gran medida de las características de su musculatura. Igualmente, depende del desarrollo muscular la estabilidad de las articulaciones principal es. La mayor parte de las modificaciones de la cúpula plantar se deben a debilidad de los músculos que garantizan los arcos del pie.

Sin dudas, un fortalecimiento de la musculatura inhibirá deformaciones esqueléticas y muchas veces, compensará las ya existentes, a la vez que propicia la recuperación de la movilidad articular.

Un importante papel tiene la flexibilidad y la coordinación para el mantenimiento y recuperación de la salud. En primer lugar, el relativo a la prevención de accidentes, que ocupan en todos los grupos etarios, uno de los primeros lugares en tasas de morbilidad y mortalidad de la población. Un adecuado entrenamiento deberá desarrollar una buena flexibilidad y coordinación motriz, que en adecuada relación con la fuerza promueva la seguridad en la ejecución de los movimientos de la vida cotidiana, por sus efectos positivos en el equilibrio corporal y estabilidad en la marcha.

En este contexto es importante recordar la interrelación de movilidad articular y estabilidad articular. La flexibilidad, la posibilidad de realizar los movimientos con la mayor amplitud, no puede alcanzarse a costa de una disminución de la estabilidad articular.

Un aparato capsular – ligamentoso sobre distendido, la ausencia de equilibrio muscular (desbalance muscular) llevará a la inestabilidad articular, como ya se explicó al tratar el tópico de la flexibilidad. Consecuencia metodológica y profiláctica de lo anterior será el aumento paulatino de las cargas, tanto para la flexibilidad activa como pasiva: aperturas abruptas o forzadas de los ángulos articulares equivalen a peligro de lesión en musculatura, tendones, cápsulas, ligamentos y cartílagos articulares.

En la relación entre actividad física y salud, la rapidez o velocidad del movimiento posee un valor secundario, escaso y sus efectos pueden llegar a ser negativos; por ejemplo, en la tercera edad, movimientos rápidos y bruscos pueden provocar daños en los tejidos sensibles, rígidos, de personas no entrenadas.

Algunos aspectos a considerar en el entrenamiento de fuerza orientado al mantenimiento y recuperación de la salud se tratan en los siguientes párrafos.

Los participantes en actividades físicas de promoción de salud y rehabilitación poseen, en comparación con atletas entrenados, un menor desarrollo muscular, fijador del aparato pasivo de sostén, lo cual disminuye su capacidad de carga.

Para prevenir lesiones, así como alcanzar positivas condiciones para la adaptación a las cargas pueden considerarse los aspectos siguientes:

- Evitar ejercicios con resistencias extremas al movimiento.
- Evitar ejercicios en posiciones corporales extremas.
- Evitar ejercicios con movimientos a altas velocidades.

También se recomienda atender a:

- **Combinación de fuerza dinámica y estática (isométrica):** predominio de las cargas dinámicas; el movimiento articular propicia la coordinación y cierta hipertrofia del tejido muscular, mejorando su capilarización. No deben excluirse totalmente las cargas isométricas, ya que cierta capacidad de fuerza estática prepara la musculatura para soportar determinadas exigencias de la vida diaria (mantenimiento de la postura, cargar pesos, etc.) Algunas afecciones pueden tener contraindicaciones para esos ejercicios isométricos (cardiopatías, entre otras).

- **Entrenamiento de la fuerza- resistencia:** propicia la economía de trabajo y la capacidad de resistir la fatiga; mejora la vascularización; aumenta el número de mitocondrias y el contenido de mioglobina en el músculo con la consecuente mejoría de la respiración celular; aumenta el nivel de los procesos metabólicos aerobios e influye en la mejor funcionalidad cardio - vascular.

- **Entrenamiento funcional y multilateral de la fuerza:** analizar la estructura del movimiento de cada ejercicio, de tal forma que la ejecución responda al desarrollo real de cada grupo muscular (sinergistas) y su compensación (antagonistas) evitando desbalances musculares (acortamiento de unos músculos y debilitamiento de otros).

- **Entrenamiento de fuerza y elongación muscular “stretching”:** cada sesión de trabajo de fuerza debe incluir la correspondiente “descarga” funcional de los músculos (elongación o estiramiento) con el fin de compensar la reacción fisiológica: las fuertes y sostenidas contracciones musculares

provocan fenómenos de contracción residual en las fibras que pueden hacerse irreversibles si no se complementan con un trabajo de distensión; de esa manera el músculo no recuperaría su longitud inicial, perdiendo elasticidad e instalándose un acortamiento muscular que puede ser causa de posteriores lesiones (contracturas, rupturas musculares, insercionitis) y pérdida de la amplitud articular.

Es necesario insistir en el logro del balance entre desarrollo de la fuerza y de la flexibilidad, contemplando la posibilidad de aplicar pruebas (test) funcionales que informen sobre el estado de los distintos grupos musculares y conocer si existe debilidad o acortamiento, derivando las medidas compensatorias consecuentes.

Pruebas funcionales musculares

Las primeras experiencias en la aplicación de pruebas (test) musculares se encuentran en la literatura desde hace más de 60 años, en las investigaciones clínicas vinculadas al tratamiento de la poliomielitis. Aunque el procedimiento se ha ido perfeccionando, los principios de este método se mantienen (Kendall, citado por Manzur y Leon, 2004). En 1976 Janda (citado por Tittel, 1996) perfeccionó el sistema en el sentido de su aplicación en el ámbito del Deporte y la Cultura Física, con atención especial a la unidad funcional de varios músculos (cadenas musculares).

Estas pruebas permiten registrar con exactitud determinados estereotipos motores al considerar el carácter complejo de los movimientos corporales. En este caso se entiende por estereotipo motor la acción conjunta y constante de grupos musculares en un modo determinado y en un orden definido, logrado por la neuroregulación, donde las desviaciones del modelo de movimiento óptimo tienen un significado patogénico.

Conociendo que los desbalances musculares preceden a las alteraciones funcionales y a las lesiones articulares, ganan en importancia los test musculares; de su información pueden derivarse medidas profilácticas y orientaciones para la ejercitación.

Las pruebas musculares funcionales de Janda se dirigen a detectar tanto el debilitamiento de la fuerza muscular, como el acortamiento muscular o

pérdida de las cualidades elásticas del músculo. Neumann (citado por Tittel, 1996) plantea que los músculos con predominio de fibras de contracción lenta tienden a sufrir alargamiento y debilitamiento de su fuerza, mientras que aquellos con mayor proporción de fibras de contracción rápida mostrarán tendencia al acortamiento.

En los test funcionales musculares se realizan sólo movimientos libres articulares, sin implementos o sobrepesos adicionales.

Este test evaluativo de las condiciones de los grupos musculares tiene un carácter semiobjetivo y su resultado estará, en gran medida, influenciado por la apreciación del técnico que evalúa. No obstante, puede aportar una buena caracterización del equilibrio entre los distintos grupos musculares.

Los test funcionales musculares son recomendable, por su aplicabilidad en todas las edades, a practicantes de la cultura física y el deporte, incluyendo a los pacientes con afecciones específicas, que requieran prescripción de ejercicios físicos para su tratamiento; estas pruebas brindan información sobre la evolución y respuesta adaptativa al programa que se aplique individualmente.

El diagnóstico de músculo o grupos musculares acortados o debilitados sirve de base para elaborar programas de tratamiento a través de ejercicios y como fisioprofilaxis. Se recomienda la aplicación de las pruebas varias veces en el curso, para controlar la efectividad de las medidas fisioterapéuticas y la asimilación de las cargas aplicadas.

Partiendo de la generalización vertical en la actividad neuromuscular, se infiere que alteraciones de la musculatura pueden corresponder a modificaciones en los centros motores corticales y viceversa, estos estados se relacionan a menudo con variaciones del estereotipo motor.

Reconocer los desbalances musculares y su incidencia en el estereotipo lo más temprano posible permite las consecuentes modificaciones en el aprendizaje motor, particularmente en edades infantiles o en la rehabilitación de la motricidad. En este sentido es de señalar que un estereotipo motor óptimo es determinante para una elevada capacidad de carga de las estructuras osteomioarticulares.

En correspondencia con el tipo de sobrecarga específica, según la técnica del movimiento en cada deporte, pudieran describirse “modelos” típicos de

acortamiento y debilitamiento muscular, de manera que puedan plantearse medidas profilácticas, fisioterapéuticas y metodológicas en cada disciplina.

La función muscular alterada, hipertonia de unos e hipotonía de otros grupos musculares, puede ser causa o consecuencia de un bloqueo articular, de lo que se deriva su importancia para la rehabilitación de la función articular.

Los test funcionales musculares que se proponen, constituyen un método no invasivo, de aplicación relativamente sencilla, que no requiere equipamiento especial y adquieren gran valor en el trabajo del médico del deporte y del profesor en los gimnasios de cultura física, así como en áreas y gimnasios terapéuticos.

Para evaluar la fuerza o debilidad muscular mediante estas pruebas, se utiliza una escala que otorga notas (grados) en dependencia del rendimiento muscular. Esto es propio de las pruebas musculares clínicas, detalladas para cada músculo individualmente y de aplicación en especialidades como la ortopedia y la neurología.

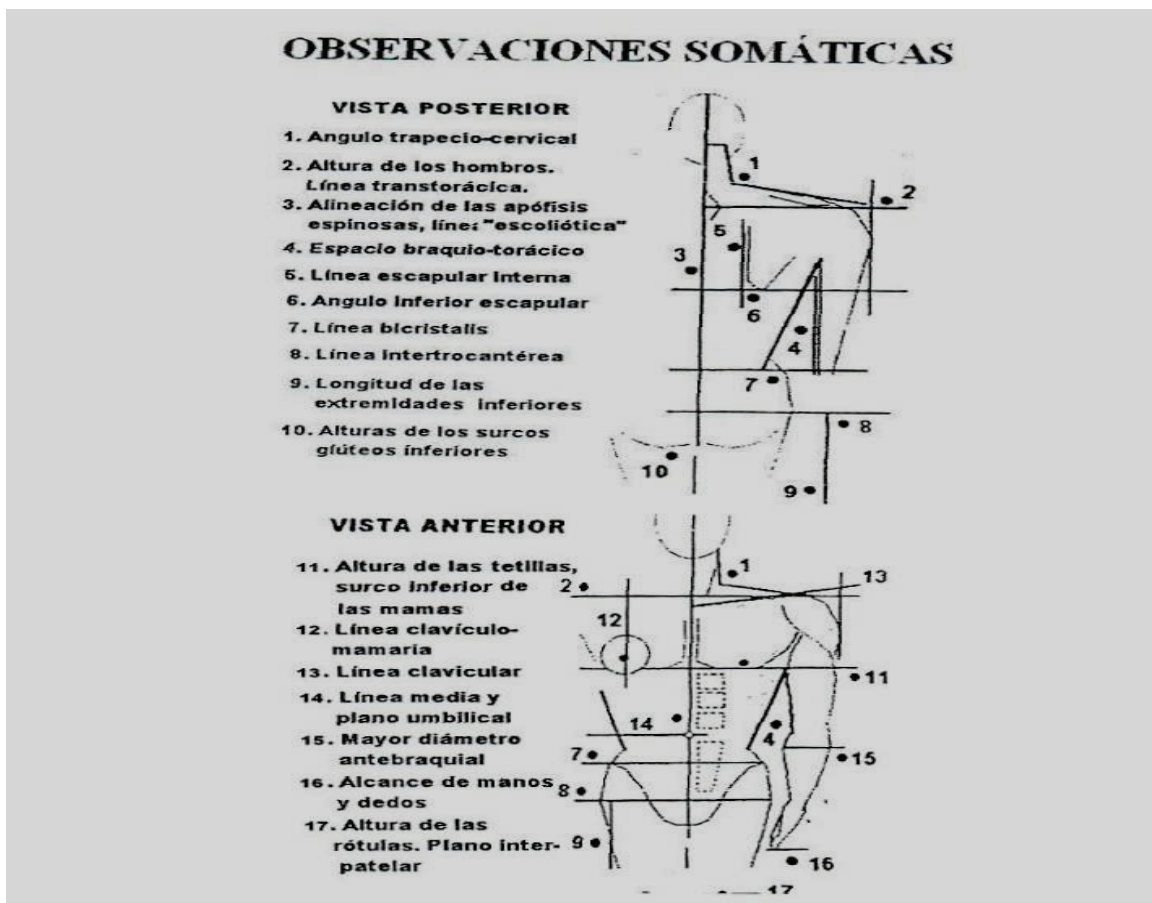
Los pacientes con deformidades fijas de la columna vertebral representan un difícil reto ortopédico y biomecánico; es preferible utilizar todos los medios para impedir la progresión y fijación de las desviaciones posturales, cuya solución es sumamente difícil. A lo largo de los años los tratamientos para corregir las desviaciones de la columna vertebral han ido evolucionando, son diversos y se relacionan con la severidad de la desviación; abarcan desde los ejercicios correctivos para aquellos pacientes que presentan posturas deficientes, hasta el uso de corsés y procedimientos quirúrgicos de gran complejidad para aquellos donde la deformidad es más grave. En los últimos casos también suelen utilizarse ejercicios terapéuticos como complemento, una vez que el paciente se encuentra apto para realizarlos.

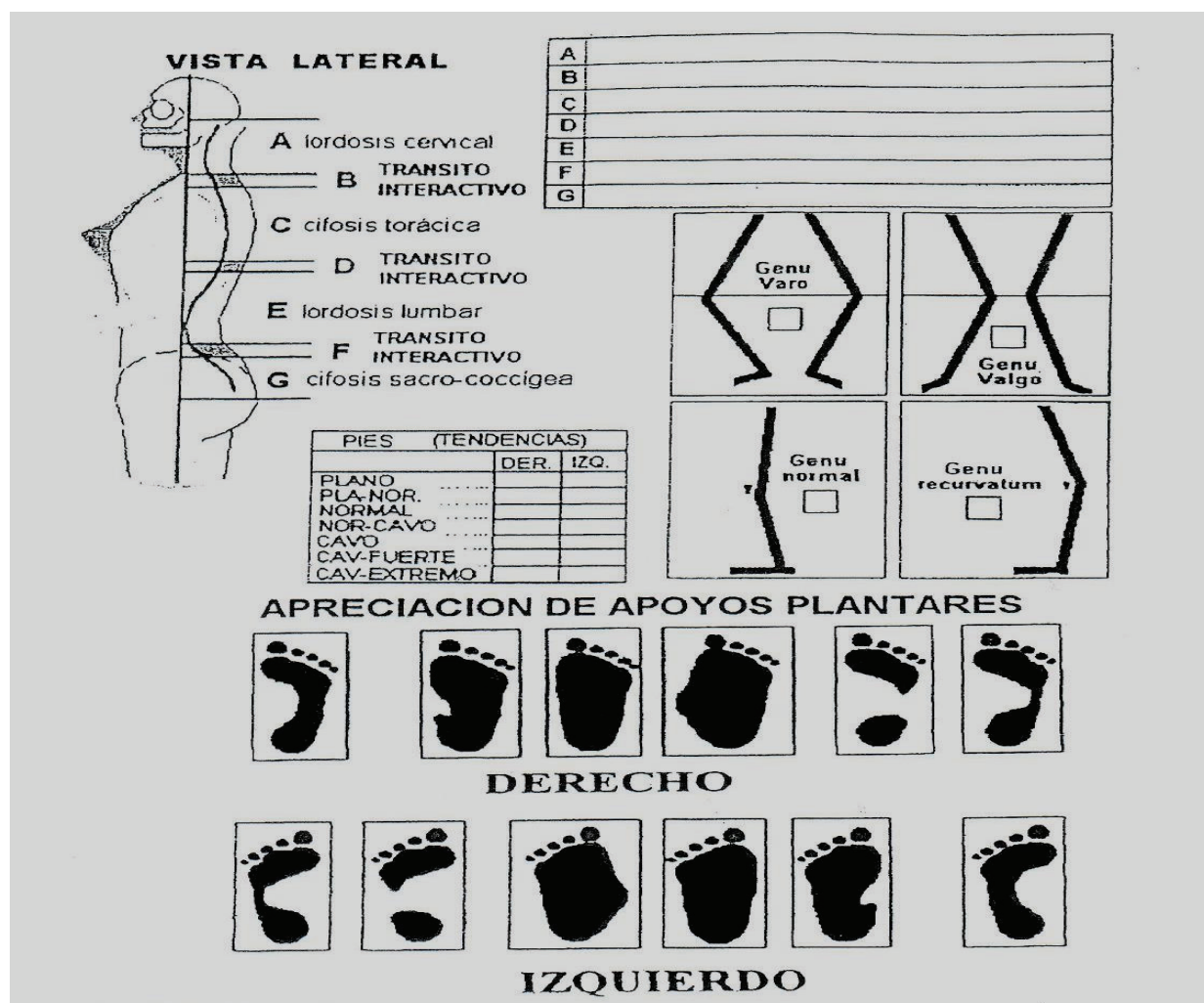
Kendall (citado por Manzur y Leon, 2004) apunta que “el tratamiento de las desviaciones de la columna vertebral requiere un conocimiento profundo de la anatomía y función de los músculos, así como de los principios que deben seguirse en el diseño de los planes de ejercicios terapéuticos”. Es por eso que esta tarea debe ser realizada por personas calificadas, capaces de distinguir las necesidades individuales de los pacientes.

En gimnasios y áreas de cultura física terapéutica se atienden pacientes con desviaciones posturales, que asisten por prescripción del médico

especialista en ortopedia. En la mayoría de los casos la recomendación médica es “fortalecer la musculatura paravertebral”. Se insiste en que el médico debería estar suficientemente capacitado para prescribir con detalles los ejercicios que deben ser utilizados para cada caso, lo que la mayoría de las veces no se logra.

En el área, el profesor, generalmente licenciado en cultura física, realiza el test postural, es decir, la observación de la alineación de los segmentos corporales y según sus conocimientos, las recomendaciones metodológicas vigentes y su experiencia práctica, selecciona o elabora los ejercicios adecuados para cada paciente. La evaluación del progreso se realiza a través del test postural que se repite cada seis meses y a través de la valoración por el ortopédico, que habitualmente se realiza cada año. Para complementar la información que brinda el tradicional test postural, es aconsejable acompañar la aplicación de las pruebas o test funcionales que se proponen con los procedimientos que Hernández Corvo (2010) sistematiza en su *Manual de Clínica Observacional*, apoyándose en las siguientes guías de observación:





(Tomado de Hdez. Corvo, 2010)

Con la propuesta que se expone con amplitud más adelante, se pretende cooperar en la individualización del tratamiento mediante ejercicios físicos, proporcionando un grupo de pruebas o test funcionales para la localización de la debilidad o acortamiento de músculos o grupos musculares específicos relacionados con el mantenimiento de la postura.

Los resultados de estas pruebas, en las que cada individuo se compara consigo mismo en diferentes etapas del tratamiento (cada seis u ocho semanas), permiten actuar allí donde es necesario, evaluar la efectividad de los ejercicios seleccionados y corregir los aspectos necesarios, por lo que el objetivo de esta propuesta es proporcionar un grupo de pruebas funcionales musculares que, como complemento del test postural, permita

mayor individualización de la terapia de las desviaciones de la columna vertebral a través de ejercicios físicos, en niños, adolescentes y otros pacientes que asisten a Gimnasios y Áreas de Cultura Física Terapéutica, aportando elementos para elevar la calidad del trabajo de los médicos y técnicos en esas instituciones.

Se ha realizado una modificación de las pruebas, a partir de una amplia revisión bibliográfica (Manzur y Leon, 2004) adaptándolas para su utilización en programas de Cultura Física Terapéutica y Profiláctica, Estas pruebas, de fácil aplicación y que no requieren de instrumentos de medición especiales, permitirán detectar acortamiento o debilidad de grupos musculares relacionados con el mantenimiento de las curvaturas vertebrales y la postura bípeda, siendo aplicables también con fines de evaluación del efecto de programas de Actividad Física en la Comunidad, como son los Círculos de Abuelos y la Gimnasia para la Mujer, como se expone en los siguientes párrafos.

Metodología para la realización de las pruebas funcionales musculares (Manzur y León, 2004)

Pruebas para detectar acortamiento muscular

1. Test de flexión del tronco y caderas

El propósito de esta prueba es detectar el acortamiento de la musculatura de la espalda baja (región lumbar) e isquiotibiales.

Esta prueba se escogió entre otras que tenían propósito similar por ser la más utilizada internacionalmente y por existir tablas para evaluar los resultados.

Materiales: banco de aproximadamente 30 cm de altura, regla graduada en centímetros o en su defecto una tablilla donde se marquen los centímetros o se fije una cinta métrica.

Posición inicial:

Sentado en el suelo con la espalda y la cabeza apoyadas a la pared, piernas totalmente extendidas con la planta de los pies contra el banco donde se realizará la prueba.

Colocar una mano sobre otra, extendiendo los brazos hacia delante, manteniendo la cabeza y la espalda contra la pared. En ese punto, es decir, allí donde se encuentra la punta de los dedos, se coloca el cero de la regla.

Movimiento: Lentamente flexionar el tronco y buscar tan lejos hacia delante como sea posible, deslizando los dedos a lo largo de la regla, que debe mantenerse fija por el examinador. Mantener la posición final por dos segundos. Registrar la distancia alcanzada en centímetros. Repetir el test tres veces y anotar la mayor distancia. Adaptado de Hoeger 1995.

2. Test para detectar acortamiento de músculos isquiotibiales.

Posición inicial: Acostado decúbito supino, miembros inferiores extendidos, los superiores a ambos lados del cuerpo.

Movimiento: El examinador elevará cada miembro inferior con la rodilla extendida flexionándolo por la cadera hasta 90° . Detener el movimiento si se presenta dolor. Realizar con cada miembro por separado.

Evaluación: Si hay dolor existe acortamiento.

Adaptado de Kendall, Kendall y W adsworth (1971)

3. Test para detectar acortamiento del músculo cuadrado lumbar

Materiales: regla graduada centímetros o instrumento similar para hacer la medición.

Posición inicial: De pie miembros superiores extendidos a ambos lados del cuerpo. Se medirá y registrará la distancia dactilion al suelo de cada miembro.

Movimiento: Flexión lateral del tronco, medir y registrar la distancia dactilion - suelo del miembro del mismo lado de la flexión. Repetir hacia el lado contrario.

Evaluación: restar a la distancia dactilion - suelo la distancia dactilion - suelo en flexión lateral. Esta prueba evalúa el acortamiento del músculo del lado contrario al que se realiza la flexión.

Se califica así:

5: si la diferencia es $> 20\text{cm}$

4: si la diferencia está entre 17 y 20 cm.

3: si la diferencia es $<17\text{ cm}$.

Adaptado de Janda, citado por León (1996).

4. Test para detectar acortamiento de los músculos flexores de la cadera

Posición inicial: Decúbito supino.

Movimiento: Un muslo se flexionará hacia el tronco con la pierna flexionada ayudándose de las manos. Debe tratar de mantenerse el otro miembro, que es el que se evalúa, extendido y en contacto con la superficie donde el sujeto se encuentre acostado. Repetir con el otro miembro.

Evaluación: Siempre que se eleve la corva de la superficie en que se está acostado hay acortamiento.

Adaptado de Kendall (1971) y Wheeler (1971)

5. Test para detectar acortamiento del recto femoral

Materiales: regla graduada centímetros o algún instrumento que permita hacer la medición.

Posición inicial: Decúbito prono, piernas flexionadas.

Movimiento: Acercar los talones a los glúteos, el examinador fijará la cadera evitando hiperextensión, se permite ligera ayuda del técnico.

Evaluación:

5: si hay contacto talón - glúteos

4: si hay distancia talón - glúteos de hasta 15 cm.

3: si la distancia talón - glúteos es >15 cm.

Adaptado de Janda, citado por León (1996).

6. Test para evaluar acortamiento del tríceps sural

Posición inicial: De pie, brazos al frente, pies unidos.

Movimiento: Realizar cuclillas profunda sin despegar talones del suelo.

Evaluación:

5: si logra las cuclillas sin despegar los talones del suelo

4: si las logra despegando talones

3: si no logra realizar las cuclillas

Adaptado de Janda, citado por León (1996)

7. Test para evaluar acortamiento de los músculos aductores y rotadores mediales del brazo

Posición inicial: Decúbito supino, piernas flexionadas, apoyando los pies en la superficie en que se está acostado.

Movimiento: Flexionar el brazo tratando de tocar la superficie en que se está acostado. Es decir, elevarlo desde la superficie y tratar de llegar nuevamente a la superficie hasta colocar el brazo al lado de la cabeza, con el codo extendido. Realizar con cada miembro por separado.

Evaluación: si no se toca la superficie con el codo, estando el antebrazo extendido, hay acortamiento.

Pruebas para detectar debilidad muscular

Adaptado de Kraus - Weber, citados por Wheeler (1971), Kendall (1971)

1. Test para evaluar la musculatura de la región alta de la espalda

Materiales: cronómetro o reloj con el que se puedan contar los segundos.

Posición inicial: Decúbito prono, con almohada bajo el abdomen, manos detrás de la nuca.

Movimiento: Levantar cabeza, hombros y tórax, del suelo. Mantener 10 segundos.

Adaptado de Kraus - Weber, citados por Wheeler (1971)

2. Test para evaluar la musculatura de la región baja de la espalda

Materiales: cronómetro o reloj con el que se puedan contar los segundos.

Posición inicial: Decúbito prono, con almohada bajo el abdomen, manos detrás de la nuca.

Movimiento: Levantar miembros inferiores del suelo. Mantener 10 segundos.

Estas dos pruebas se evalúan de positivas cuando el examinado logra mantener la posición durante el tiempo indicado.

Adaptado de Kraus - Weber, citados por Wheeler (1971)

3. Test para evaluar la resistencia a la fuerza de la musculatura del tronco. (Solo ejecutan esta prueba los que logren realizar exitosamente las dos anteriores)

Materiales: cronómetro o reloj con el que se puedan contar los segundos.

Posición inicial: Decúbito prono, sobre una superficie que permita que el tronco quede colgando. Los pies sujetos por un compañero.

Movimiento: Elevar el tronco hasta que se coloque paralelo al suelo. Mantener la posición. Medir el tiempo que se logra mantener el tronco en la posición indicada.

Evaluación: Según el autor consultado, en adolescentes es aceptable si puede mantenerse la posición entre dos minutos y dos minutos y medio.

Adaptado de Popov (1988)

4. Test para evaluar el músculo glúteo mayor

Posición inicial: Decúbito prono, rodillas unidas y flexionadas a 90°. El examinador levanta los muslos ligeramente para mantener la cadera extendida.

Movimiento: Levantar ambos muslos con rodillas unidas.

Evaluación:

5: si al levantar ambos muslos la mano del examinador palpa la zona de la espina iliaca antero- superior.

4: si la mano del examinador llega al tercio medio del muslo.

3: si la mano del examinador no llega más allá de 5 cm. sobre la rodilla y estas no se mantienen unidas.

Adaptado de Janda, citado por León (1996)

5. Test para evaluar la fuerza de los músculos abdominales

Esta prueba y la que sigue fueron seleccionadas porque se encuentran entre las utilizadas para evaluar la aptitud física de la población cubana.

Posición inicial: Decúbito supino, sujetos los pies por el examinador. Pies separados a 30 centímetros, piernas flexionadas en ángulo de 90°. Brazos cruzados sobre el pecho.

Movimiento: Flexionar el tronco sin despegar región lumbar de la superficie. Contar la cantidad de movimientos que se realicen.

Evaluación: Valorar según tabla de normativas generales del plan LPV, es decir, se ubicará al sujeto en un nivel (del I al IV) según la cantidad de repeticiones que realice.

Adaptado de Plan de Eficiencia Física LPV 2000. Normativas generales. INDER, Cuba.

6. Test para evaluar la musculatura de la cintura escapular y los hombros

Mujeres

Materiales: cronómetro o reloj con el que se puedan contar los segundos.

Posición inicial: Colgando de una barra con 3/8 pulgada de diámetro, situada a una altura que permita al sujeto colgar, sin tocar el suelo. El agarre en pronación, al ancho de los hombros.

Movimiento: El examinador sujetará a la examinada por la cintura y la ayudará a elevarse hasta que logre mantener la barbilla a nivel de la barra.

Se medirá el tiempo que logre mantener la posición, con la barbilla al nivel de la barra, cuando baje de ese nivel se detiene el conteo.

Hombres

Posición inicial: Colgando de una barra con 3/8 pulgada de diámetro, situada a una altura que permita al sujeto colgar, sin tocar el suelo. El agarre en pronación, al ancho de los hombros.

Movimiento: Realizar tracción hasta que la barbilla se coloque a la altura de la barra. Repetir tantas veces como sea posible.

Evaluación: En ambos sexos valorar según tabla de normativas generales del plan LPV. Es decir, se ubicará al sujeto en un nivel (del I al IV) según la cantidad de repeticiones que realice, en el caso de los varones, y según el tiempo que se logre mantener la posición, en el caso de las mujeres.

Adaptado de Plan de Eficiencia Física LPV 2000. Normativas generales. INDER, Cuba

Los resultados que arrojan estas pruebas sobre las modificaciones funcionales de los distintos grupos musculares requieren la mayor individualización en el tratamiento de las desviaciones de la columna vertebral.

Los resultados de estas pruebas funcionales musculares aplicadas a niños y adolescentes con desviaciones posturales revelan elevados porcentajes de músculos acortados o débiles (Manzur y Leon, 2004)

En los siguientes párrafos e ilustraciones se expone un amplio análisis de aspectos anatómicos y biomecánicos, estudiados por Manzur (2008) que deben considerarse al indicar, seleccionar o elaborar ejercicios para el fortalecimiento o para la elongación de los músculos relacionados con las curvaturas vertebrales y los miembros inferiores que aseguran la función de apoyo y la estabilidad postural.

Consideraciones anátomo funcionales para la elongación y el fortalecimiento de músculos acortados o debilitados

Colaboración de la Lic. Silvia Manzur Rodés (MSc.)

Solo a través del conocimiento de la anatomía y función del aparato locomotor, el médico y el profesor de educación física estarán verdaderamente calificados para enfrentar la difícil y paciente tarea de trabajar con las personas, casi siempre niños y adolescentes, que buscan ayuda con el fin de lograr una postura adecuada. El propósito de esta nota es brindar algunas consideraciones anátomo funcionales que deben tenerse en cuenta cuando

se prescriben, se seleccionan o se elaboran ejercicios para elongar y fortalecer músculos relacionados con el mantenimiento de la postura. Esto ayudará a una actuación profesional creativa y responsable.

La descripción de la anatomía y funciones de estos músculos puede encontrarse en los atlas y textos de anatomía humana, por lo que solo se abordan los aspectos más generales y que son indispensables para ilustrar los puntos sobre los que se pretende profundizar.

La relación entre el tono o fuerza y longitud de los músculos que rodean una articulación es conocida como balance muscular. El tratamiento efectivo e integral de las desviaciones posturales requiere atención a los desbalances musculares. La alineación postural deficiente es casi siempre asociada con un desbalance en la musculatura circundante y la mala alineación mantenida resulta en que algunos músculos se acortan y otros desarrollan un constante sobre estiramiento. Por supuesto, cuando ciertos músculos son usados más frecuentemente (en el trabajo, en los deportes y en otras actividades de la vida cotidiana), ellos se hacen más tensos y fuertes, mientras los músculos opuestos y subutilizados son, en comparación, más débiles. La consecuencia probable es la mal posición de la articulación o articulaciones involucradas.

Garbe, citado por Manzur (2008) afirma: “la prevención y compensación de la debilidad muscular en los defectos posturales son tareas prioritarias de la fisioterapia. Por lo tanto es usada una gama de ejercicios típicos para fortalecer los músculos debilitados, algunos de esos ejercicios son tradicionalmente incluidos en los deportes escolares. La mayoría de los conceptos terapéuticos se enfocan primariamente sobre el fortalecimiento muscular sin tener en consideración que es crucial compensar los desbalances musculares a través del estiramiento de los grupos musculares acortados también”.

Los músculos pueden dividirse en dos grupos: movilizadores (o motores) y estabilizadores. Estos dos grupos de músculos tienen diferentes características. Los movilizadores se encuentran cerca de la superficie corporal y tienden a ser biarticulares. Están formados básicamente de fibras rápidas que producen fuerza pero son poco resistentes. Con el tiempo y el uso tienden a acortarse y tensarse. Participan en los movimientos balísticos y producen gran fuerza. Los estabilizadores, por el contrario, están situados más profundamente, solo cruzan una articulación y están contruidos

por fibras lentas, para resistencia. Ellos tienden a hacerse débiles y a alargarse con el tiempo. Funcionalmente los estabilizadores participan en el mantenimiento de la postura y trabajan contra la gravedad.

Inicialmente ambos grupos trabajan complementándose para estabilizar y mover, con el tiempo los movilizadores pueden inhibir la acción de los estabilizadores e intentar cumplir esa función ellos mismos. Esta inhibición de los estabilizadores y reclutamiento preferencial de los motores es fundamental en el desarrollo del desbalance y es la esencia de lo que se quiere detectar y si es posible revertir.

Desbalances musculares comunes

Según escribe Lewitt, citado por Manzur (2008), muchas personas desarrollan una configuración de desbalance muscular similar, casi estandarizada. Mientras hay muchas variaciones individuales debidas a las diferencias en las actividades que realiza cada sujeto, hay un patrón consistente que resulta básicamente de la forma en que acostumbramos a usar nuestros músculos posturales. Además parece existir un componente neurológico, ya que estos patrones son muy comunes y extendidos.

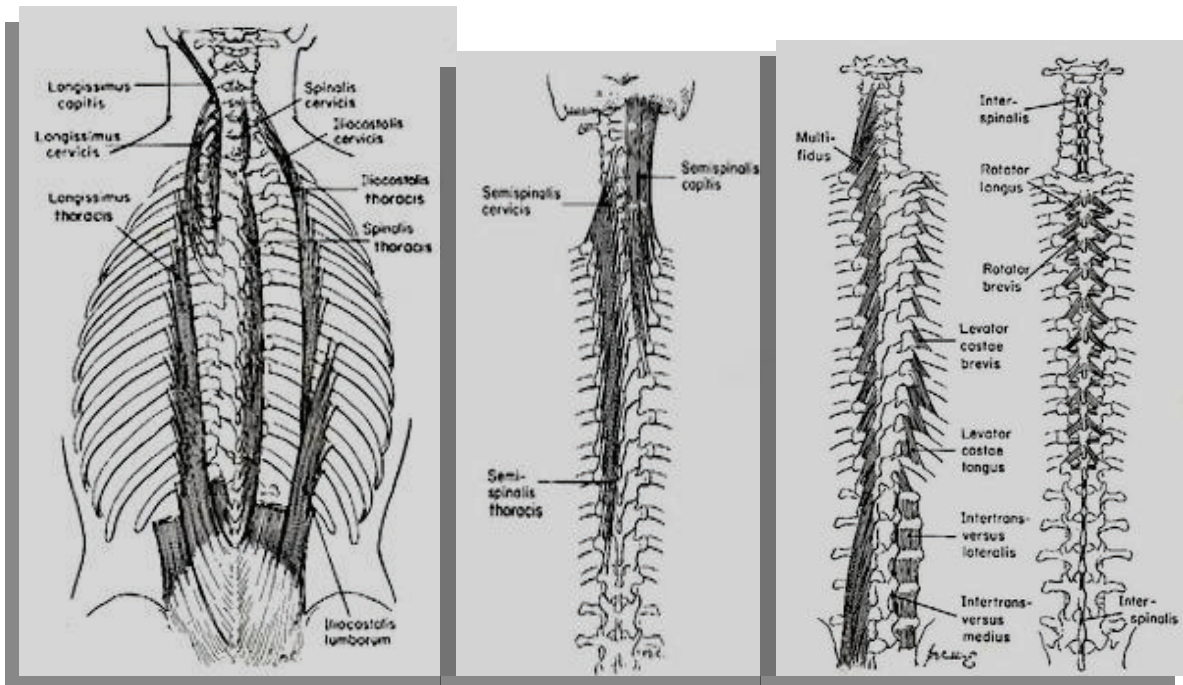
Patrones de la parte superior del cuerpo

Los músculos del cuello, espalda media y superior, y cintura escapular muestran este tipo de configuración: tensión en los músculos extensores del cuello, el trapecio superior y los elevadores de la escápula. Los grupos musculares opuestos (largos de la cabeza y el cuello y trapecio bajo) están frecuentemente laxos y necesitados de ser fortalecidos. En el hombro los músculos anteriores (pectoral mayor y menor) se encuentran usualmente hipertónicos, mientras que infraespinoso, redondo menor, romboides y porción torácica del erector espinal están inhibidos. Estos desbalances musculares desembocan en el muy común patrón postural de los hombros adelantados y la cifosis incrementada, con una inclinación hacia adelante de la cabeza y pérdida de la lordosis cervical.

Patrones de la parte inferior del cuerpo

Desbalances musculares similares se hallan frecuentemente en las regiones lumbar y pélvica. Los músculos erectores espinales están frecuentemente tensos e hipertónicos, mientras los abdominales están laxos. Los músculos flexores de la cadera tensos, mientras el glúteo mayor se vuelve débil, interfiriendo con la completa extensión de la cadera durante la marcha. Se sospecha que esta combinación es un factor contribuyente en la tirantez y desgarramientos de los músculos posteriores del muslo. Los músculos flexores de la cadera tensos, inhibirán a los posteriores, los que sufren mayor estrés durante la extensión, por la debilidad del glúteo. El resultado es la carga excesiva sobre esos músculos causando su lesión. Los músculos aductores tensos están frecuentemente en relación con debilidad de glúteo mediano y menor, esto puede llevar a una tirantez crónica en la región inguinal.

Músculos posteriores profundos del tronco (extensores)²



² Todas las figuras anatómicas fueron tomadas de Kinesiology, de Wells, citado por Manzur (2008)

Consideraciones anátomo-funcionales al elaborar ejercicios.

Entre los músculos posteriores profundos del tronco se distinguen los músculos largos (esplenios de la cabeza y del cuello, erector del tronco y transversoespinosos) y los cortos (interespinales e intertransversarios). Los músculos largos se subdividen en partes según su ubicación en las diferentes regiones de la columna vertebral.

Habitualmente actúan teniendo como punto fijo la cintura pélvica o las vértebras inferiores, estando estos puntos fijos, la contracción de los músculos tira de las inserciones superiores y provoca el movimiento de las porciones del tronco que se hallan por encima. Así, estando el sujeto de pie con el tronco flexionado, la contracción bilateral de estos músculos provoca la extensión del segmento corporal. La cadera permanece fija y tira de la columna vertebral hacia atrás, con lo que se produce la extensión. Si los músculos se contraen unilateralmente provocan la flexión hacia el lado de la contracción.

Sin embargo, no hay ninguna razón para que no ocurra lo contrario, es decir, si están fijas las porciones superiores estos músculos halan la cadera desde las costillas o las vértebras. Una bella muestra de esta acción es cuando un gimnasta se encuentra en las anillas, su sustentación tiene lugar a través del agarre de las manos, la cintura escapular juega entonces el papel de base intermedia de sustentación y debe halarse el tronco y colocarlo en la posición horizontal; para ello además de la acción de la musculatura de la cintura escapular, es preciso que los músculos profundos del dorso tomando como punto fijo las vértebras de arriba halen a las que se hayan por debajo y a la cintura pélvica de modo que se logre la posición horizontal.

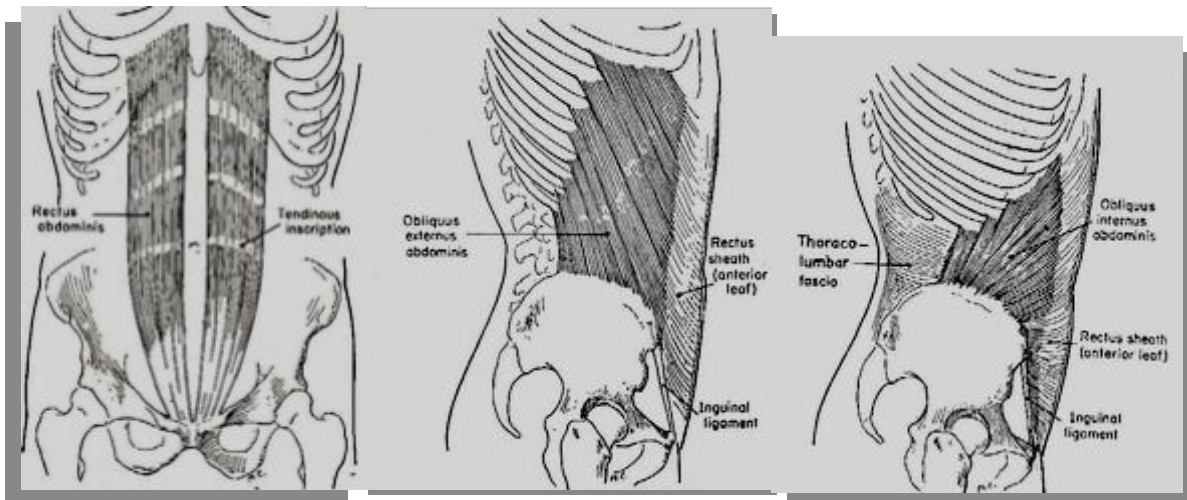
Si se pretende fortalecer estos músculos, deben recordarse las acciones que ellos realizan: extensión, flexión y rotación del tronco y deben ejecutarse ejercicios que incluyan estos movimientos. Es importante también usar la acción gravitacional con el doble propósito de dar variedad al programa de ejercicios y aumentar o disminuir la dificultad de los mismos cuando sea necesario. Un ejemplo sencillo se encuentra cuando realizamos ejercicios de fortalecimiento colocando al sujeto decúbito prono, esta posición exige más esfuerzo de la musculatura extensora del tronco pues la extensión del tronco se realiza contra la fuerza de gravedad durante toda la amplitud del movimiento.

Como los músculos cortos tienen una estructura segmentaria y los músculos largos se dividen según su ubicación en relación con la columna vertebral, puede encontrarse débil una porción de los mismos, entonces se requerirá individualizar en el tratamiento de la región afectada.

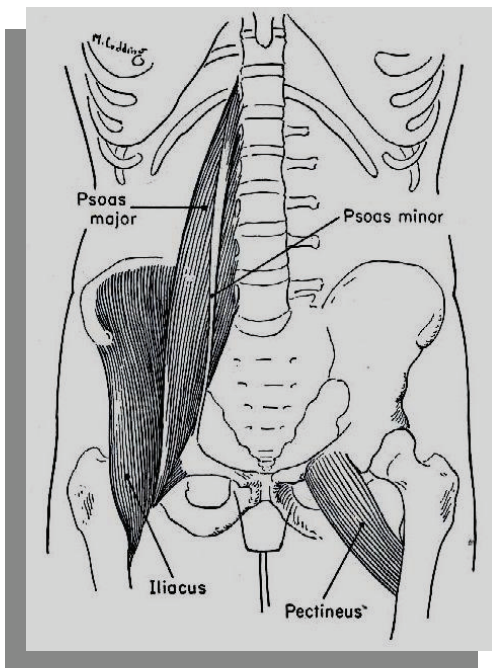
Si se presenta acortamiento de estos músculos (extensores del tronco) y se desea su estiramiento (elongación), debe realizarse el movimiento contrario, la flexión del tronco, que puede estar asociada a rotaciones del mismo, con lo que se consigue actuar sobre las fibras oblicuas. Es importante tener en cuenta realizar la flexión en las diferentes regiones de la columna vertebral: cervical, torácica y lumbar; pues si se realiza manteniendo el tronco extendido y haciéndolo rotar alrededor de la articulación de la cadera, las vértebras mantienen su posición y los músculos posteriores del tronco permanecen con igual longitud y se alargan aquellos posteriores a la cadera, articulación en la que tiene lugar el movimiento.

Musculatura abdominal

La musculatura abdominal, como ya ha sido señalado, forma parte del corsé muscular para el mantenimiento de la postura adecuada. Los cuatro músculos que la integran (recto, oblicuos interno y externo y el transverso) forman un fuerte soporte anterior para las vísceras y al mismo tiempo están sometidos a considerable estrés por la presión que éstas ejercen sobre ellos. Si la pared abdominal es débil las vísceras presionan más y los músculos cada vez estarán más alagados y débiles.



Habitualmente se utilizan ejercicios desde la posición decúbito supino, con lo que se aprovecha mejor la fuerza de gravedad durante toda la flexión y extensión del tronco. Igual que en el caso de la musculatura extensora del tronco, si se desea fortalecer la musculatura abdominal ha de observarse que estos músculos se extienden entre las costillas y la cintura pélvica, por lo que deben realizarse preferentemente movimientos que acerquen el tórax a la pelvis o viceversa. Las flexiones amplias del tronco involucran a la articulación de la cadera y los músculos anteriores a ella y no a las articulaciones entre las vértebras, por lo tanto es preferible realizar movimientos “cortos”, a nivel de las regiones cervical, torácica y lumbar de la columna vertebral.

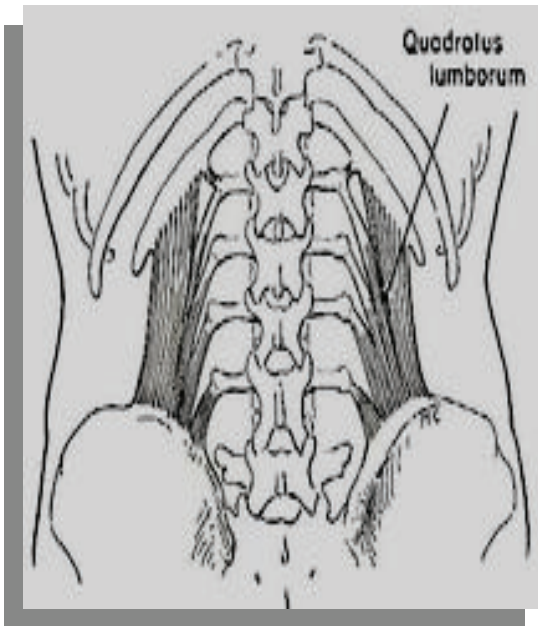


Según Rash y Burke (citados por Manzur, 2008) no es recomendable realizar los llamados abdominales de piernas, pues en estos casos suele presentarse la llamada “paradoja del psoas”, la inversión de su función, actuando como hiperextensor de la columna lumbar. Si los abdominales se contraen al mismo tiempo que se elevan los miembros inferiores no se produce la inclinación de la pelvis hacia delante bajo la acción del psoas, pero si los abdominales son débiles la pelvis se inclina hacia delante y las vértebras lumbares se levantan del suelo, exagerando la lordosis lumbar, efecto

que no es el deseado. Por eso es un principio de la terapéutica el prestar la mayor atención al desarrollo de los abdominales y reducir al mínimo el desarrollo del psoas ilíaco.

Músculo cuadrado lumbar

Situado posterior y lateralmente respecto a la columna vertebral, este músculo ayuda a soportar el peso de la pelvis cuando se está apoyado sobre uno de los miembros inferiores. Knapp, citado por Wells, quien ha estudiado

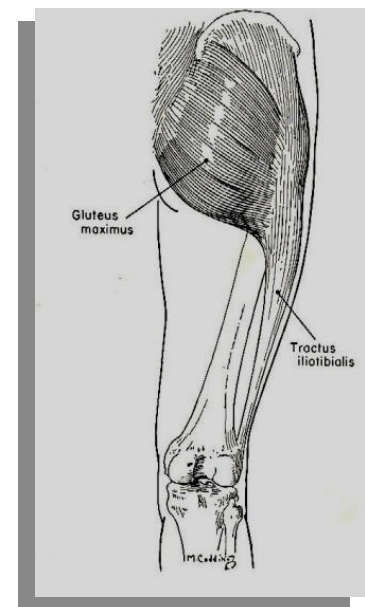


extensamente este músculo, afirma que un grupo de fibras de este músculo, que tienen dirección oblicua y se insertan en los procesos transversos de las vértebras lumbares, provocan una curva lateral cóncava hacia el lado contrario y que la principal función de este músculo es la estabilización de la columna lumbar. Por lo tanto es importante el balance en las acciones de los músculos cuadrados lumbares a ambos lados de la columna vertebral. (Manzur, 2008).

El papel de este músculo en la extensión, hiperextensión y en la flexión lateral del tronco, es afectado por la posición, o mejor, por los cambios en la posición del tronco, por lo que para fortalecer este músculo deben realizarse flexiones laterales contra resistencia o estando el cuerpo en decúbito lateral y para elongarlo, igualmente pueden realizarse flexiones laterales pero hacia el lado contrario del músculo que se pretende alargar, intentando lograr y mantener la mayor amplitud de movimientos.

Músculo glúteo mayor

Este músculo tiene una gran importancia en el mantenimiento de la posición bípeda humana. Forma parte importante de la cadena extensora o anti gravitacional, por lo que en el hombre presenta un desarrollo particular. Es posterior con respecto a la cadera y por lo tanto participa en la extensión del muslo si el tronco se encuentra fijo. Si se halla fijo el muslo, este músculo participa en la extensión del tronco cuando éste se encuentra flexionado. El glúteo mayor, debido a la posición de sus fibras respecto a la articulación coxal, todas posteriores, algunas

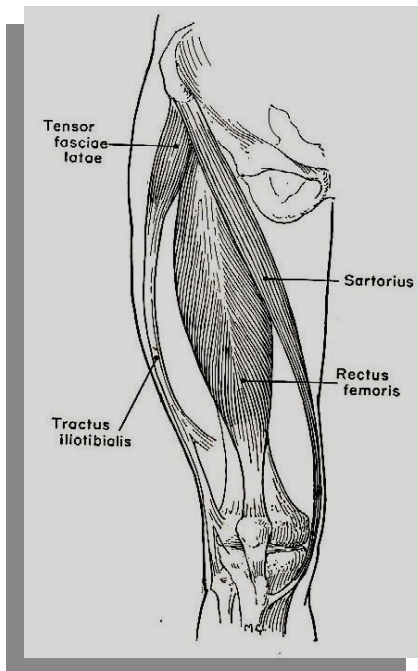


superiores y otras inferiores, puede actuar en casi todos los movimientos del muslo.

Participa, además, en la estabilización de la cintura pélvica. Cuando se quiere disminuir la inclinación pélvica se indica “apretar los glúteos” uno contra el otro, esta acción se considera como un ejercicio correctivo; la tensión estática del glúteo mayor así conseguida, junto con la de la musculatura abdominal, forma parte de las acciones musculares isométricas que permiten mantener una postura adecuada como base para realizar ejercicios terapéuticos en las desviaciones de la columna vertebral.

Este músculo puede fortalecerse realizando cuclillas, asaltos, carreras en distintas formas, saltos, extensiones del muslo desde distintas posiciones (vertical, horizontal y en cuadrupedia). Si se quiere aislar la acción de este músculo se realiza el movimiento de extensión estando la pierna flexionada, para neutralizar la acción de los músculos biarticulares posteriores del muslo (isquiotibiales).

Músculos flexores de la cadera

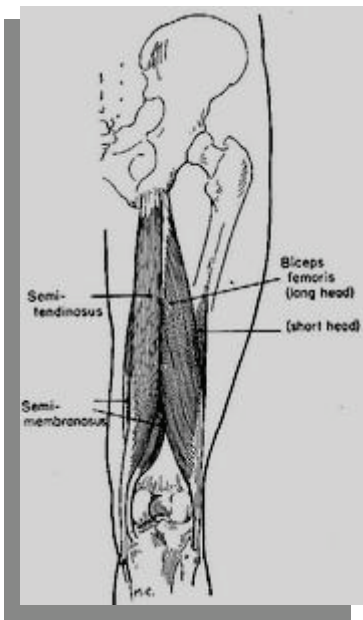


Los músculos flexores de la cadera (tensor de la fascia lata, sartorio, pectíneo, recto femoral, aductores largo y breve) se hallan ubicados por delante de la articulación de la cadera. Entre ellos excepto el pectíneo y los aductores, los demás son músculos biarticulares, pues sobrepasan además la articulación de la rodilla, por lo tanto son movilizadores y tienden a acortarse. Atención especial merece el recto femoral, pues además de participar en la flexión de la cadera actúa, con el resto de las cabezas del cuádriceps femoral, en la extensión de la rodilla, es decir, en dos movimientos que se realizan en dirección contraria.

Si se pretende elongar estos músculos deben realizarse ejercicios donde se ejecute la extensión del muslo en la articulación de la cadera, es decir, el

movimiento contrario al que ellos provocan, pues de este modo se alejan los puntos de inserción de los mismos, la proximal en la cintura pélvica y la distal en el fémur o en los huesos de la pierna. Para elongar el recto femoral la extensión de la cadera debe acompañarse de la flexión de la rodilla, de manera que sus puntos de inserción queden lo más distantes posible.

Músculos isquiotibiales



También llamados isquio-tibio-peroneos o del grupo isquiático (semitendinoso, semimembranoso y bíceps femoral), tienen su inserción proximal en la tuberosidad isquiática y su inserción distal en la tuberosidad de la tibia y la cabeza de la fíbula.

Su ubicación es posterior respecto a la cadera y la rodilla, provocan fundamentalmente la extensión del muslo y la flexión de la pierna. Si se pretende fortalecer estos músculos deben realizarse esos movimientos contra una resistencia que, como para el resto de los ejercicios de fortalecimiento, puede comenzar por ser el peso del propio segmento corporal. Como ya fue explicado, estos músculos

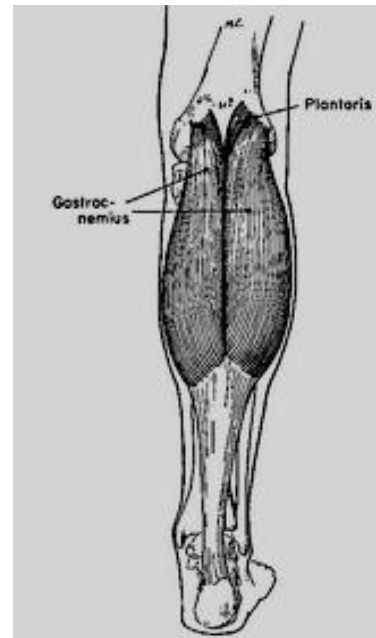
son movilizadores y con el tiempo y el uso tienden a acortarse, en esta investigación el 54.16 % de los sujetos presentaron acortamiento de estos músculos.

Para elongar los músculos del grupo isquiático deben realizarse los movimientos contrarios a los que ellos provocan, es decir, la flexión del muslo estando la pierna extendida. De este modo los puntos de inserción de los músculos se alejan y los músculos se estiran. Igualmente, si se realiza la flexión amplia del tronco, como al tocar la punta de los pies estando parados o sentados, manteniendo extendidas las rodillas, la cintura pélvica rota alrededor de la cabeza femoral, aumentando la inclinación pélvica con lo que la tuberosidad isquiática se aleja de los puntos de inserción de los músculos en la tibia y la fíbula, provocando el estiramiento de los músculos.

Tríceps sural

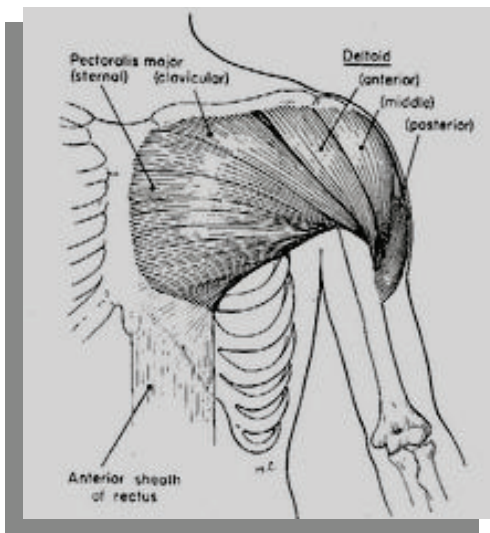
Formado por los gastrocnemios (gemelos) y el sóleo, este grupo muscular tiende al acortamiento. Estos músculos forman parte de la cadena extensora o anti gravitacional, pues su acción provoca la flexión plantar del pie; estando de pie la acción de estos y otros músculos permite elevarse sobre el metatarso o la punta de los pies y en la traslación colocan el pie en una posición ventajosa para el empujón final en la marcha y la carrera.

La realización de ejercicios para el estiramiento de los músculos de la pantorrilla se recomienda como parte del calentamiento y la recuperación en cualquier sesión de ejercicios. Para esto se realiza la flexión de la pierna sobre el pie (es decir, el acercamiento de la cara anterior de la pierna al dorso del pie), casi siempre pasiva, es decir sin acción muscular en la región. Para esto pueden adoptarse posiciones del cuerpo en las que se favorezca la flexión, por ejemplo: manteniendo el pie fijo inclinar el tronco hacia adelante: Para estirar los gastrocnemios la rodilla debe quedar extendida pues este músculo sobrepasa ambas articulaciones (rodilla y tobillo), en la rodilla provoca la flexión y en el tobillo la extensión, entonces para lograr la elongación deben realizarse los dos movimientos contrarios, extensión en la rodilla y flexión en el tobillo. Para alargar el sóleo basta con flexionar el pie, pues este músculo es monoarticular, posterior a la articulación del tobillo y su origen es en los huesos de la pierna.



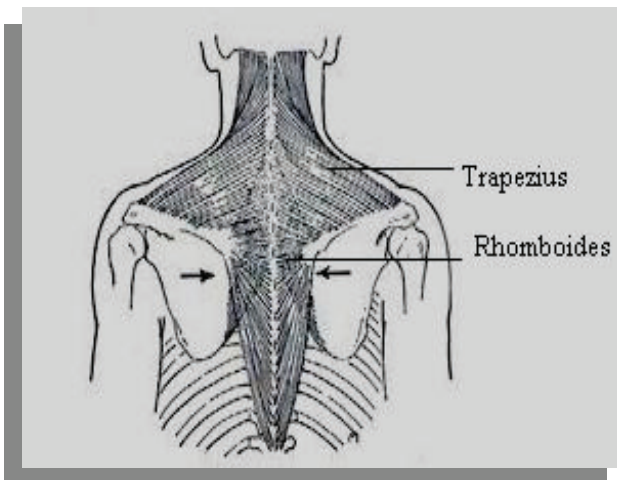
Músculos aductores y rotadores mediales del brazo

Estos músculos se ubican anteriormente a la articulación del hombro; entre ellos se encuentran el músculo pectoral mayor, el coracobraquial, el subescapular, el bíceps braquial. Además se incluyen dos músculos posteriores: el dorsal ancho y el redondo mayor, que por sus características anatómicas (inserción en la superficie antero medial del húmero) participan también en estos movimientos.



Atención especial merece el pectoral mayor, cuyo acortamiento forma parte del patrón conocido como hombros redondeados o adelantados, es necesario realizar la abducción unida a la rotación externa y también el movimiento conocido como extensión horizontal, es decir, el movimiento hacia atrás estando el húmero en posición horizontal. Con estos movimientos se alejan los puntos de inserción de los músculos anteriores a la articulación del hombro.

Musculatura de la cintura escapular



La musculatura de la cintura escapular incluye un gran grupo de músculos que pueden dividirse en dos conjuntos: los que fijan y mueven la escápula y los que mueven el húmero y lo estabilizan en su posición frente a la cavidad glenoidea de la escápula.

Es importante destacar que la amplitud de movimientos del brazo (húmero) es posible gracias

a la movilidad de la cintura escapular (clavícula y escápula); hay entre los movimientos del húmero, la escápula y la clavícula una estrecha relación. Hdez. Corvo (1989) señala que “la posición de la escápula, con independencia de su relación clavicular, obedece a las disposiciones musculares entre este hueso y la columna vertebral. De modo que si desde el punto de vista esquelético- articular no encontramos una relación directa entre la escápula y el eje vertebral, desde el punto de vista funcional tenemos varios elementos que establecen esta relación”.

Los músculos aductores escapulares, o sea, los que provocan la aproximación de la escápula a la columna vertebral (romboides y fibras medias del trapecio, principalmente) tienden a debilitarse y alargarse debido a la posición que se adopta habitualmente en las actividades de la vida cotidiana, con lo que la escápula se separa del eje vertebral y se hace prominente en la espalda (escápulas aladas). Este patrón se ve reforzado por el acortamiento del pectoral mayor, tratado con anterioridad.

Entre los ejercicios generales para el fortalecimiento de la musculatura de la cintura escapular se encuentran las planchas, las trepadas, las tracciones en la barra. Debe prestarse atención especial a los músculos aductores escapulares, para ello son muy útiles los ejercicios en parejas, donde uno de los compañeros ofrezca resistencia al movimiento de aducción escapular. Para conseguir la acción de estos músculos pueden realizarse movimientos del brazo que impliquen la aducción escapular, por ejemplo, aducción del brazo contra la resistencia de un compañero; desde la posición horizontal, con el antebrazo extendido o flexionado realizar la extensión del brazo (moverlo hacia atrás) con un compañero ofreciendo resistencia al movimiento.

En estos últimos ejercicios tienen la ventaja de que además del fortalecimiento de los músculos aductores escapulares se logra la elongación del pectoral mayor.

Lógicamente, después de leer los argumentos anteriores es fácil comprender que es imposible separar los músculos que relacionan segmentos corporales vecinos para analizar correctamente los posibles desbalances, pues las alteraciones en unos provocan cambios en la posición de los huesos donde se insertan otros.

Bibliografía

1. Ahonen, J. et al (2001) Kinesiología y Anatomía aplicada a la actividad física. Paidotribo. Barcelona
2. Donskoi, D Y V. Zatsiorski (1988) Biomecánica de los ejercicios físicos. Ed. Pueblo y Educación. La Habana.
3. Garrido Chamorro, R et al (2005) Comparación de las fórmulas de Lee y Martin para el cálculo de la masa muscular de 3125 deportistas de alto nivel. <http://www.efdeportes.com> Revista Digital - Buenos Aires - Año 10 - N° 82
4. Graubner, R. y E. Nixdorf (2011) Biomechanical Analysis of the sprint and hurdles Events at the 2009 IAAF World Championships in Athletics. NSA / IAAF 26: ½ 19-53
5. Gutiérrez Dávila, M. (2006) Biomecánica Deportiva. Ed. Síntesis. Madrid
6. Guyton, A. & J. Hall (2006) Textbook of Medical Physiology. 11° Ed. Elsevier inc. Philadelphia
7. Hernández Corvo, R. (1989) Morfología Funcional Deportiva. Paidotribo. Barcelona
8. Hernández Corvo, R. (1997) Preparación Biológica del Calentamiento. Comunidad de Madrid
9. Hernández Corvo, R. (1999) Talentos Deportivos. Com. de Madrid
10. Hernández Corvo, R. (2000) Halterofilia y Movimiento. Com. de Madrid
11. Hernández Corvo, R. (2010) Clínica Observacional. Ed. Deportes. Habana
12. León Pérez, S. (1996) La importancia de la fuerza y la flexibilidad en la relación Cultura Física- Salud. En: Manual del profesor de Educación Física. La Habana, Unidad impresora "J.A. Huelga", INDER, págs. 292 - 300.
13. León Pérez, S. (2010) Morfología y Biomecánica. Recopilación Temática para la Especialidad Medicina del Deporte. Versión Digital. Instituto de Medicina del Deporte. La Habana
14. León Pérez, S. (2011) Bases Morfofuncionales de la Biomecánica Clínica. Conferencias. Maestría de Biomecánica. Versión Digital. UCCFD. Habana
15. León, S. y A. Fernández (2007) Caracterización del Apoyo Plantar en Deportistas Elite Cubanos. Rev. Cub. de Med. del Deporte. Versión Digital. Vol. II No.1

16. López Chicharro, J. y A. F. Vaquero (2001) Fisiología del Ejercicio Ed. Medica Panamericana. Buenos Aires
17. Manzur, S. (2008) Consideraciones anátomo-funcionales para la elongación y el fortalecimiento de músculos acortados o debilitados. Disponible en <http://www.efdeportes.com>. Buenos Aires. Revista Digital N° 122 - Julio de 2008
18. Manzur, S. y S. León (2004) Pruebas Funcionales Musculares. Disponible en <http://www.efdeportes.com> Buenos Aires. Revista Digital N° 79 Diciembre de 2004
19. Martín, D. y col. (2001) Manual de Metodología del Entrenamiento Deportivo. Paidotribo Barcelona
20. Navarro, S. (2007) La Iniciación Deportiva y la Planificación del Entrenamiento. Ed. Deportes Habana
21. Nordin, M. y V. Franke (1989) Biomechanics of Musculoskeletal System. Lea Philadelphia, London
22. O'Farril, A., et al (2001) Metodología para la Aplicación de Pruebas en el Deporte de Alta Calificación. Disponible <http://www.efdeportes.com> No. 363 - 8 Buenos Aires
23. Payton, C. y A. Bartlett (2008) Biomechanical Evaluation of Movement in Sport and Exercise. BASES Guidelines. Routledge London
24. Quetglas, Z. (2012) Test para evaluar las capacidades elástica y reactiva en las extremidades superiores. Tesis de Doctor en Ciencias de la Cultura Física y el Deporte. UCCFD. Habana
25. Roman, I. (2007) Giga Fuerza. Ed. Deporte Habana
26. Tittel, K. (1996) Beschreibende und Funktionelle Anatomie des Menschen. Fischer Verl. Jena Germany
27. Zatsiorski, V. (1989) Metrología Deportiva. Ed. Pueblo y Educación Habana

CONTENIDO

Capítulo	Pág.
1. Fundamentos del análisis morfológico y biomecánico en el deporte	
Introducción	9
Capacidad adaptativa como base biológica del entrenamiento	10
Biomecánica del sistema locomotor	18
Investigaciones en Morfología Funcional y Biomecánica	27
Equilibrio bípedo y función de apoyo	36
2. Sistema locomotor y armonía del movimiento	
Introducción	52
El cuerpo humano como sistema biomecánico	55
Cadenas de acción muscular	59
Clasificación de los ejercicios físicos	63
Consideraciones biomecánicas sobre la técnica deportiva	66
3. Bases morfo-biomecánicas de las capacidades motrices	
Introducción	69
Análisis morfo biomecánico de las capacidades condicionales	73
Biomecánica Diferencial. El sexo y la edad en la motricidad	100
Apuntes acerca de los “Talentos Deportivos”	111
Desarrollo físico y fuerza en la iniciación deportiva	113
4. Reflexiones morfofuncionales sobre la actividad física para la salud	
Introducción	120
La fuerza y la flexibilidad en la actividad física para la salud	121
Pruebas funcionales musculares	125
Consideraciones anátomo funcionales para el fortalecimiento de músculos acortados o debilitados	137
Bibliografía	150



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



ISBN: 978-9978-301-23-4



9 789978 301234