



BIOCIENCIAS

Revista de la Facultad de Ciencias de la Salud

Vol. 2- año 2004

SEPARATA



LA MARCHA: HISTORIA DE LOS PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS.

Susana Collado Vázquez

Universidad Alfonso X el Sabio

Facultad de Ciencias de la Salud

Villanueva de la Cañada

© Del texto: Susana Collado Vázquez

Abril, 2004.

http://www.uax.es/publicaciones/archivos/CCSREV04_005.pdf

© De la edición: BIOCIENCIAS. Facultad de Ciencias de la Salud.

Universidad Alfonso X el Sabio.

28691, Villanueva de la Cañada (Madrid).

ISSN: 1696-8077

Editor: Susana Collado Vázquez ccsalud@uax.es

No está permitida la reproducción total o parcial de este artículo, ni su almacenamiento o transmisión por cualquier procedimiento, sin permiso previo por escrito de la revista BIOCIENCIAS.

LA MARCHA: HISTORIA DE LOS PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS.

Susana Collado Vázquez

Dra. en Medicina y Cirugía. Profesora de Fisioterapia de la Facultad de Ciencias de la Salud de la
Universidad Alfonso X el Sabio. Coordinadora de Motricidad.

Nombre y dirección del autor responsable de la correspondencia: Susana Collado Vázquez.
scollvaz@uax.es

RESUMEN:

Este artículo es una revisión histórica de los procedimientos de análisis de la marcha, desde la cultura clásica de Grecia y Roma hasta el momento actual, para resaltar los grandes avances que se han producido, principalmente en el último siglo, y de forma más concreta desde la introducción de programas informáticos que han simplificado el análisis del movimiento y de la marcha y que asimismo permiten obtener datos objetivos de aplicación tanto en el estudio de parámetros normales, como en la valoración de la marcha patológica.

PALABRAS CLAVE: Marcha, Análisis de la marcha, plataformas de fuerza

ABSTRACT:

This article is an historical review of the analysis gait procedures, from classic culture of Greece and Rome to nowadays, to remark the great advances, fundamentally in the last century and particularly from the introduction of computer programs which has simplified the movement and gait analysis which makes possible to obtain objective data in the study of normal or pathological gait parameters

KEY-WORDS: *Gait, Gait analysis, force plates*

1. INTRODUCCIÓN:

El estudio del movimiento y de la marcha ha interesado desde tiempos remotos, pero en la antigüedad el hombre sólo disponía de su capacidad de observación. En el último siglo el desarrollo de las técnicas de análisis de la marcha ha experimentado su mayor desarrollo, principalmente desde la introducción de programas informáticos que proporcionan datos numéricos y gráficos y permiten la realización de un estudio objetivo de la marcha normal y patológica, de los factores que pueden modificarla, etc.

1. GRECIA Y ROMA:

Desde la antigüedad ha existido gran interés por el estudio del movimiento y de la marcha. Cuando el hombre comenzó a practicar la Medicina observó los movimientos de los enfermos y los utilizó como ayuda en el diagnóstico de las enfermedades y en el campo terapéutico.

Son los griegos en el período helenístico los que ofrecen los orígenes de las leyes de funcionamiento que rigen el ejercicio físico. (1)

Aristóteles (384-322 a. C.), Hipócrates (460-377 a. C.) y Galeno (129-201) dieron gran importancia al estudio del movimiento y en particular al estudio de la marcha. Aristóteles describió por primera vez las acciones de los músculos y el proceso de la marcha: “El animal que se mueve hace su cambio de posición presionando lo que está por debajo de él”. Concedió gran importancia al centro de gravedad y a las leyes del movimiento y de las palancas. Es considerado precursor de las leyes del movimiento newtonianas. Afirmaba que el hombre era el único en poder caminar porque su naturaleza y su ser eran divinos. (1-3)

Hipócrates demuestra un profundo conocimiento de la relación entre el movimiento y el músculo, al que él denomina carne, y recomienda el movimiento en el tratamiento de enfermedades, en concreto largas caminatas para evitar la atrofia y combatir la obesidad. (4)

El romano Galeno, que trabajó como médico de gladiadores, en su ensayo “De Motu Musculorum” estableció la diferencia entre nervios motores y sensitivos y músculos agonistas y antagonistas (1). También describió el tono muscular. Expuso la Anatomía conjuntamente con la Fisiología pues deseaba describir el cuerpo humano en pleno funcionamiento (4).

2. EDAD MEDIA:

Con la caída del Imperio Romano se olvidan en cierta medida las enseñanzas de griegos y romanos y en esta época no hay avances notables en el estudio del movimiento y la marcha. Únicamente los árabes son

transmisores de la sabiduría clásica, entre ellos se puede destacar a Avicena, estudioso de la Filosofía Aristotélica que escribió “Canon de Medicina”, obra traducida al latín en el S. XII y a Averroes, muy interesado en las obras de Aristóteles, Hipócrates y Galeno. En su obra “Kulliyat” recoge conocimientos fisiológicos, patológicos, de higiene y terapéutica de Hipócrates y Galeno (5)

3. EDAD MODERNA:

Desde los estudios de Galeno, los conocimientos de Fisiología del ejercicio no avanzaron hasta que Leonardo da Vinci se interesó por el movimiento humano, el centro de gravedad y la marcha.(6,7)

Leonardo Da Vinci (1452-1519), hombre polifacético, destacó en el campo de las Artes pero también dedicó gran parte de su vida a realizar investigaciones científicas en los campos de la Estática, la Dinámica, Física, Geometría, Ingeniería Industrial, Botánica, Geología, Anatomía, etc. El pintor florentino escribió: “ La Ciencia de la Mecánica es la más útil y generosa de todas las ciencias pues todos los cuerpos vivos que tienen movimiento actúan bajo sus leyes”. (6) Verrocchio, maestro de Da Vinci, instruyó a su discípulo en la disección de cadáveres para que sus dibujos de figuras humanas fueran anatómicamente correctos y bien proporcionados. (8,9)

Leonardo Da Vinci representa mediante grabados las fases de la marcha humana. Estudia la Anatomía humana, la capacidad del hombre para generar movimiento, y la relación del centro de gravedad con el mantenimiento del equilibrio, describe la mecánica del cuerpo en bipedestación, durante la marcha y el salto y estudia el mecanismo de contracción muscular y de la mecánica articular.(8, 10, 11)

Es a partir del siglo XVII cuando, gracias a los estudios de Galileo Galilei e Isaac Newton, se puede ya realizar una aproximación científica al análisis mecánico de los seres vivos (10).

Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679), discípulo de Galileo y una de las grandes figuras de la Accademia del Cimento de Florencia, estudia el movimiento en todas sus formas con una metodología científica y plasma los resultados de este estudio en su obra: “De Motu animalium”, publicada después de su muerte en 1680 (10,12-14). Aplica a la Medicina el método físico-matemático de su maestro Galileo Galilei y concibe el organismo de una forma radicalmente mecanicista.(10, 7) Para el estudio del movimiento humano y el animal aplica sistemáticamente el principio de la palanca, considera las relaciones entre sistema muscular y sistema óseo y refiere las variaciones que se producen en el músculo en movimiento; variaciones tanto de longitud como de volumen. Parte del movimiento aislado de un músculo para, posteriormente, hacer referencia al movimiento de todo el cuerpo. No estudia únicamente los movimientos del ser humano, también se ocupa del estudio del movimiento de pájaros, peces, mamíferos e insectos (2). Actualmente es considerado el padre de

la Biomecánica. Borelli fue el impulsor de la Yatrofísica o Yatromecánica cuyo principio fundamental es que: “todo puede ser explicado mecánicamente”. (2,4, 7,10)

Niels Stensen establece en 1664 las bases de la mecánica muscular y describe el músculo como un conglomerado de fibras motoras cuya parte central difiere de los extremos y que es la única que se contrae. (1)

4. ERA CONTEMPORÁNEA:

Esta época comprende los siglos XIX, XX y XXI, caracterizados por la Revolución Industrial y grandes avances tecnológicos. Las nuevas técnicas y la instrumentación cada vez más sofisticada han permitido grandes avances en el estudio de la marcha normal y la marcha patológica. Anteriormente los estudios de la marcha se habían basado en la observación que había permitido describir las fases del ciclo de la marcha, velocidad y otros parámetros cualitativos. (5,13)

En 1836 los hermanos Weber llevan a cabo el primer análisis mecánico del paso humano. (7, 10, 11, 15) En su obra: “Mechanik der Menschlichen Gehwerkzeuge. Gottingen”, describen las fases de la marcha humana, movimientos del centro de gravedad y alteraciones de la marcha (11, 15).

El principio básico de la película fotográfica fue descubierto por el alemán Johann Heinrich Schultze, que se dio cuenta de que el cloruro de plata ennegrecía al ser expuesto a la luz, pero la imagen no pudo fijarse hasta 1826, cuando Joseph Nicéphore Niepce (1765-1833), un oficial jubilado del ejército francés, consiguió enfocar un haz de luz en una lámina de estaño con un asfalto sensible a la luz. Preciso ocho horas de exposición. En 1850 la placa húmeda hizo posible que se tomaran fotografías con mayor rapidez y menor coste. En 1871 el proceso se simplificó gracias a las placas secas(16,17). Poco después esta técnica, aún incipiente, sería utilizada para el estudio de la marcha.

El fotógrafo inglés Eadweard Muybridge (1830-1904) ideó la forma de hacer rápidamente numerosas fotografías seguidas (7, 10, 17). Colocó varias cámaras que enfocaban un objeto en movimiento, sujetó todas las cuerdas de las cámaras y tiró de ellas, una tras otra, para disparar las cámaras fotográficas a un intervalo de tiempo determinado. Obtuvo como resultado una sucesión de fotografías tomadas con una diferencia de una fracción de segundo. A este sistema se le llamó fotografía secuencial y permitió observar detalles del movimiento que antes no habían podido ser apreciados, pues consiguió congelar distintos momentos de un movimiento rápido que podía estudiarse con todo detalle (10, 17, 18).

Muybridge utilizó este sistema en abril de 1873, a instancias de Leland Stanford, exgobernador de California, en el Hipódromo Race Park de Sacramento para estudiar mediante imágenes secuenciadas el

galope de un caballo de carreras y resolver la duda de si el caballo, al galopar a gran velocidad, separaba las cuatro patas del suelo en algún momento. Estas fotografías fueron publicadas en la revista *Scientific American* en 1887 (10, 17, 18).

Posteriormente realizó numerosos experimentos que le permitieron, cuando trabajaba en la Universidad de Pennsylvania, tomar más de 100.000 exposiciones de personas y animales en movimiento. Para obtener esas imágenes empleó 24 cámaras electrofotográficas accionadas secuencialmente. Muybridge en “*Animal Locomotion*” describe las técnicas de fotografía seriada aplicadas al análisis de la marcha humana. (3)

Etienne Jules Marey (1830-1904), médico, fisiólogo e inventor francés aplicó técnicas de fotografía cronocíclica, ciclofotografía o cronofotografía para analizar la marcha humana y la marcha animal.(10, 12) Se inspiró en los estudios del astrónomo Jansen, que en 1878 realizó fotografías seriadas del planeta Venus.(3)

Utilizó un carrito de locomoción para seguir la trayectoria de un sujeto en movimiento y en el que, a continuación, se podía llevar a cabo el procesado fotográfico necesario.(10,12) El “travelling” o “ferrocarril fotográfico” era una cámara oscura sobre raíles que se deslizaba paralelamente al sujeto, que destaca sobre una pantalla negra. Con esta técnica obtuvo diagramas que reflejaban las trayectorias de la cabeza, el hombro, la cadera, la rodilla y el tobillo en el plano sagital (1885) (7, 12, 17, 19).

Solía vestir a las personas con trajes negros ajustados y sobre ellos marcaba unas líneas blancas para seguir mejor los movimientos de las distintas partes del cuerpo en cada fase del ciclo de la marcha. (12)

En 1873 empleó un sistema para el estudio de la marcha, registrando las reacciones de apoyo y la duración del contacto del pie en el suelo mediante métodos neumáticos.(12, 20) Marey recoge puntos de presión dinámicos sobre el pie durante el paso, situando dos células manométricas en la suela de una sandalia exploratoria. Emplea un zapato provisto de una cámara de aire dinamométrica unida a un cilindro registrador para conocer las presiones ejercidas sobre el suelo durante la marcha o carrera.(12,13,20,21) Posteriormente otros autores como Amar, Carlet, de Demeny, etc. llevarán a cabo estudios de la marcha con técnicas similares (20).

Marey escribe “*La máquina animal*” (1873), obra que recoge sus investigaciones sobre el movimiento y que se acerca mucho al tratado de Borelli. En 1894 describió una plataforma dinamométrica (10,12).

Carlet, que desarrolló su trabajo de investigación en el laboratorio de Marey, llevó a cabo mediciones de la longitud y duración del paso, fases de oscilación y apoyo e inclinación lateral del cuerpo durante la marcha.(12)

En 1887 Beely midió las presiones bajo el pie haciendo caminar al sujeto sobre una fina capa de escayola y observando la profundidad de la huella plantar. En 1892 diseñó una plataforma dinamométrica (21).

En 1895 Braune y Fischer calcularon las velocidades y aceleraciones de algunos segmentos corporales durante la marcha. Realizaron un estudio tomando como muestra soldados de la infantería alemana, para analizar la forma más adecuada de transportar cargas de distintas magnitudes.(7)

Desde 1900 Charles Ducroquet se interesó por el estudio del movimiento en la marcha normal y en las marchas patológicas. En el Hospital de San Juan de Dios de París mandó construir un pasillo de espejos que le permitía un estudio tridimensional y la observación de todos los segmentos corporales en movimiento.(3,12)

Describió los cambios que se producen en la marcha a causa de distintos factores y cómo se desarrolla la marcha desde su inicio en la infancia hasta la senectud.

Las sombras chinescas, las linternas mágicas de los siglos XVIII y XIX e inventos como el praxinoscopio de Émile Reynaud, que proyectaba imágenes desde un tambor giratorio, fueron los primeros procedimientos para crear la ilusión de movimiento mediante la proyección en una pantalla de imágenes ampliadas.(16-18)

La invención del rollo de película de celuloide creado por George Eastman permitió en 1891 a W.K.L. Dickson, del laboratorio de Thomas Alva Edison, filmar imágenes con un cinetógrafo y proyectarlas en un Kinetoscopio.(17,18)

Ducroquet fue el primero que aplicó esta nueva técnica cinematográfica al estudio de la marcha normal y patológica.(12)

En 1916 Amar diseñó una pista dinamométrica que registraba fuerzas en cuatro direcciones: vertical, horizontal, lateral externa y lateral interna.(7, 21)

Forstall en 1925 desarrolló un sistema para medir las presiones estáticas a través del tintado de la planta del pie.(21)

Para determinar el papel de los músculos en la marcha Scherb emplea la palpación de los músculos de sujetos a los que hacía caminar por una cinta sin fin. Posteriormente sus hallazgos fueron corroborados y perfeccionados gracias a la introducción de la electromiografía.(3)

En 1927 Atzler y Herbest estudiaron la marcha desde el punto de vista metabólico, midiendo el consumo de oxígeno durante la deambulación.(10)

En este mismo año Basler midió la frecuencia de vibración que se producía en unos alambres tensos por el caminar de un sujeto. Abrahamson y colaboradores estudiaron la muesca de la huella plantar sobre una plataforma de peso especial.(13)

En 1932 en Rusia Bernstein amplía los estudios que había llevado a cabo Fischer, analizando una muestra mucho más amplia en la que incluye niños.(7)

En 1934 Elftman realizó un análisis dinámico del paso mediante técnicas ópticas y electromecánicas. Empleó una superficie de goma con la cara superior lisa y la inferior con proyecciones piramidales en contacto con una plataforma de cristal para calcular la carga soportada por el pie en las distintas fases del ciclo de la marcha.(7, 13,21)

Elftman analizó también el movimiento de las extremidades superiores, inverso al de los miembros inferiores. Comparó el braceo al movimiento de un péndulo.(10,22)

En 1935 Morton describió el Kinetógrafo, método de estudio semi-cuantitativo que consiste en una lámina de goma, de forma ondulada con sección triangular, superpuesta a una tela entintada y a una hoja de papel.(3,13,21,23) La amplitud de la deformación de estas ondulaciones proporcionaba una medida del máximo peso soportado (3,10). Posteriormente Harris y Beath y Grieve y Rashdi desarrollaron la técnica de Morton para diseñar instrumentos de medida de presión más complejos y precisos.(21)

En 1938 Rabischong aplicó técnicas electromecánicas para la medición de los componentes verticales y horizontales de la fuerza durante el ciclo de la marcha normal.(13)

A finales de la II Guerra Mundial surgieron los primeros laboratorios de Biomecánica y análisis del movimiento humano, principalmente en Estados Unidos lo que supuso un impulso en el conocimiento de la locomoción humana.(10) Se llevan a cabo numerosos estudios en veteranos de guerra, principalmente en amputados.(7)

En 1944 en la Universidad de California destacan Eberhast e Inman por sus investigaciones electromiográficas. En 1945 crearon un laboratorio de análisis de marcha humana. Describieron los parámetros cinemáticos de la marcha. Aportaron datos sobre rotación e inclinación de la pelvis y el tronco mediante la utilización de un equipo de cinematografía con el que grababan a los sujetos caminando de frente y de perfil.(3, 7)

En 1945 Scherb y Arienti colocaron contactos eléctricos en las suelas de los zapatos, en concreto en el talón y en primer y quinto metatarsianos.(3,10)

En 1947 Schwartz empleó registros neumáticos para cuantificar la presión en el talón y en las cabezas del primer y quinto metatarsianos.(3, 10,21)

En 1952 Cunningham y Brown fabricaron una plataforma dinamométrica en cuyo diseño se han basado muchos sistemas posteriores de análisis de fuerzas. En 1953 Holden y Muncey introdujeron transductores capacitivos de presión en zapatos fabricados especialmente para ese fin y mediante un osciloscopio registraron la carga y el tiempo.(3,21)

En 1954 Barnett estudia las fases de la marcha humana mediante un pedógrafo, bloque grueso de gomaespuma con 640 varillas ordenadas para formar un bloque de 6 X15 pulgadas. Se registraba fotográficamente el desplazamiento de cada varilla cuando el sujeto caminaba sobre ellas. (3)

En 1960 Chodera desarrolla el pedobarógrafo para la investigación de las presiones plantares.(23)

En 1963 Bauman y Brand colocaron transductores de presión en la planta del pie e indicaron que, aun pudiendo alterar la marcha, son útiles para medir las cargas bajo el pie y presentan ventajas frente a otros sistemas.(3,21)

En 1965 Viladot Pericé y Viladot Voegli construyeron en el Hospital de San Rafael un pasillo de marcha al estilo del de Ducroquet, donde llevaron a cabo estudios con diversas técnicas como fotografía, cinematografía y vídeo, sobre las modificaciones de la marcha en deformidades del pie, en sujetos con endoprótesis, etc. (3,24)

En 1966 Rabischong y sus colaboradores idearon un nuevo método electropodográfico, utilizando para los registros estáticos cuatro captadores de presión y para los dinámicos ocho, que montaban en una plantilla o en un tapiz dinamométrico que contenía los captadores magnéticos.(13,21)

Murray, Ryker y Radcliffe determinaron los valores angulares en las articulaciones de los miembros inferiores en las distintas fases de la marcha.

Blievernicht diseñó en 1967 un dispositivo rotatorio en forma de cono para la sincronización de tres cámaras en los tres planos.

En 1971 Martorell empleó un baropodómetro con cinco dobles cilindros situados verticalmente sobre una plataforma.(21)

En 1974 Miura y colaboradores incorporaron la densitometría de color al sistema ideado por Elftman y llevaron a cabo estudios de la marcha, la carrera y el salto. (13)

En 1976 Scranton & McMaster utilizaron cristal líquido para realizar estimaciones analíticas de la distribución de presiones bajo el pie. En este sistema una cámara fotográfica registra imágenes captadas en

sucesivos instantes. Las imágenes procesadas posteriormente permiten reconstruir el mapa de presiones en la planta del pie en cada instante. Este mismo año Arcan y Bull prepararon un sistema óptico utilizando una capa flexible compuesta en una de sus superficies por semiesferas que al ser comprimidas se deforman y generan una huella circular cuyo diámetro se halla en una relación conocida con la presión aplicada. Se obtienen unas imágenes que son susceptibles, mediante un equipo de vídeo o de forma directa, de tratamiento posterior con lo que queda determinado el mapa de presiones en la planta del pie. (13,21)

En 1978 M. Dhanendran describió un equipo constituido por 128 captadores de fuerza de naturaleza extensiométrica.⁷ En este mismo año Nicol y Henning describieron una técnica directa para medir la presión en puntos separados de la planta del pie utilizando una matriz de diodos que emiten luz y cuyo brillo depende de la presión aplicada. (13)

En 1980 Betts observó las variaciones de presión en términos de intensidad de luz reflejada en una interfase cristalina y desarrolló un método de proceso de imagen computarizada. Simkin y Stokes desarrollaron en este año un programa computarizado para analizar la dinámica plantar y mostrar la distribución de fuerzas bajo el pie. (13)

Leduc cuantificó el reparto de presiones dentro de la huella empleando un fotoelastopodoscopio que consiste en una alfombra de esférulas que se coloca entre el pie y un material birrefringente y calibra la deformación causada por el peso. La fuerza se expresa en porcentaje y se obtiene una gráfica por cada huella. La resultante de las curvas da una imagen del reparto de presiones. Draganich desarrolla un transductor con matriz de 7168 elementos combinados con una plataforma de fuerzas que mide las coordenadas horizontales del centro de presión y el componente instantáneo del momento de fuerza. (13)

En 1981 Inman recopiló los conocimientos más actuales y novedosos sobre la marcha en ese momento en su libro: "Human Walking". (3,23,25)

En 1982 Cavanagh y Henning desarrollaron una nueva técnica que consistía en una plantilla con 499 sensores de 5mm^2 , basados en principios piezoeléctricos. (21)

En ese mismo año Duckworth inició el análisis automático de la marcha y Stokes desarrolló un programa computarizado para llevar a cabo un análisis de la dinámica plantar y mostrar la distribución de fuerzas bajo el pie. (13)

En 1983 Katoh utilizó plataformas de fuerza para medir las fuerzas de reacción dinámica del suelo en sentido vertical, anteroposterior y mediolateral expresado como porcentaje del peso del cuerpo, así como el centro de

presiones bajo el pie. En este mismo año Peruchón crea unas plantillas flexibles con 256 electrodos circulares sobre una plataforma constituida por un elastómero conductor. (13,21)

En 1984 Pedotti y colaboradores aplicaron las propiedades piezoeléctricas en un nuevo modelo de registro de presiones. A finales de la década de los 80, aparecieron sistemas informáticos que permitieron importantes mejoras de los registros y análisis de los datos. Se desarrollan sistemas de baropodometría óptica y electrónica. (21)

A partir de 1986 se comercializó un sistema de baropodometría electrónica: EMED System®.(21) Libotte comienza a utilizar esta plataforma de medida a partir de 1989 para el análisis de la presión metatarsal en pacientes con metatarsalgias, hallux valgus, hallux rigidus, deformidades postraumáticas del pie, estudio de pies con alteraciones de origen neurológico (polio, neuropatía diabética, etc.) (21, 26). Esta técnica también ha sido empleada por otros autores como Henning (medición de presiones plantares en niños y adultos), (21,27) Hughes (estudios dinámicos de la marcha), (21, 28) y Phillipson (análisis del efecto de la cirugía sobre la distribución de las presiones metatarsales en pacientes con artritis reumatoide a los que se les había realizado una resección de la cabeza de los metatarsianos) (21, 29).

En 1990 se desarrolló en Italia el PODYNAMIC® System que es una plataforma con presocaptors protegidos por una capa de caucho.(21)

En 1992 Rose et al emplearon el sistema F-SCAN® que es una plantilla de 960 sensores resistivos. Mediante esta técnica se detecta, visualiza y graba la presión plantar durante la marcha.(21,30) En este mismo año Nevill describió el sistema GAITSCAN® que es empleado por Akhlaghi en 1994. Emplea 8 transductores en cada plantilla formados por una lámina de discreta piezoelectricidad. Se obtienen buenos resultados pero el inconveniente es que hay que fabricar una plantilla para cada individuo lo que limita mucho su uso clínico.(21)

En 1993 se desarrolló una plataforma compuesta por sensores piezorresistivos que permitió medir las presiones plantares con una alta resolución y se desarrolla el PODOTRACK®, sistema sencillo para detectar anomalías de los apoyos plantares.(21)

En la actualidad son numerosos los sistemas utilizados para el análisis de la marcha, tanto para la realización de análisis cinético, cinemático, estudios electromiográficos o del consumo de energía a través de espirometría.

En el análisis cinético se emplean, por ejemplo, plataformas dinamométricas piezoeléctricas Kistler® (Figura 1) que analizan las fuerzas en los tres ejes (fuerzas verticales, anteroposteriores y mediolaterales); sistema

DINASCAN/IBV[®] de plataformas instrumentadas mediante cuatro captadores extensiométricos, que permiten análisis de la marcha y el equilibrio. También se utilizan plantillas instrumentadas con sistemas de telemetría como el sistema Biofoot/IBV 2001[®], con múltiples aplicaciones en Rehabilitación, Neurología, deporte, diseño de calzado, etc. (30, 31).

La fotografía seriada utilizada por Mudbrag y Marey, o las primitivas técnicas cinematográficas que se emplearon en el análisis del movimiento, y más concretamente de la marcha, se han sustituido por sistemas que analizan el proceso de deambulación mediante la utilización de cámaras de vídeo, como el sistema Kinescan/IBV 2001[®], sistema de análisis del movimiento que se basa en el registro digital de imágenes, pudiéndose realizar los análisis en dos o en tres dimensiones.

El sistema Peak Motus[®] se emplea para análisis del movimiento; mediante cámara de vídeo se realiza estudio tridimensional (parámetros biomecánicos, velocidades, aceleraciones, centro de masas, etc.), asimismo se combina este análisis con plataformas de fuerza, sensores de presión y electromiografía.

La introducción de técnicas cada vez más sofisticadas y el diseño de programas informáticos que permiten el análisis de los datos obtenidos ha significado un gran progreso en el estudio de la deambulación y ha hecho posible llevar a cabo investigaciones muy precisas sobre cada una de las fases del ciclo de la marcha, tanto en sujetos sanos como en personas con distintas patologías o lesiones. (5)

5. CONCLUSIONES:

Las técnicas de análisis de la marcha han experimentado un gran avance, sobre todo en el último siglo y principalmente desde la introducción de sistemas de análisis informático que han proporcionado grandes mejoras en el estudio del movimiento y de la marcha pues ofrecen datos gráficos y numéricos objetivos sobre aspectos cinéticos y cinemáticos de la marcha, acción muscular o consumo de energía, tanto en sujetos sanos como en enfermos y tienen múltiples aplicaciones en estudios biomecánicos, neurología, rehabilitación, fabricación de calzado o campo deportivo.

6. BIBLIOGRAFÍA:

1. López Chicharro J, Fernández Vaquero A. Fisiología del ejercicio. 2ª ed. Madrid: Médica Panamericana; 2001.
2. Babini J. Historia de la Medicina. Barcelona: Gedisa; 2000.
3. Ramos Sánchez, M. Utilidad del análisis tridimensional de la marcha como sistema evaluador del estado clínico y funcional de pacientes sometidos a artroplastia de rodilla. [Tesis doctoral]. Madrid: Facultad de Medicina de la Universidad Complutense; 2000.

4. López Piñero, JM. Breve Historia de la Medicina. Madrid: Alianza; 2.000.
5. Collado Vázquez, S. Análisis de la marcha humana con plataformas dinamométricas. Influencia del transporte de carga [Tesis Doctoral]. Madrid: Facultad de medicina de la Universidad Complutense; 2002.
6. Casado, M J. Los genios de la pintura: Leonardo. Madrid: Gran Biblioteca Sarpe; 1979.
7. Paul, J P. History and fundamentals of gait analysis. *Bio-Medical Materials and Engineering* 1998; 8: 123-1235.
8. Penella, C. Leonardo da Vinci. Barcelona: Urbió; 1.983
9. Buchholz. Leonardo da Vinci. Vida y obra. Könnemann; 2000
10. Sánchez-Lacuesta Javier. Biomecánica de la marcha humana normal y patológica. Valencia: Instituto de Biomecánica de Valencia; 1.993
11. Lelièvre J, Lelièvre J-F. Patología del pie. Barcelona: Masson; 1.993.
12. Ducroquet R, Ducroquet J, Ducroquet P. Marcha normal y patológica. Barcelona: Toray-Masson; 1.972.
13. San Gil Sorbet, M A. Análisis dinámico de la marcha. estudio de los centros de presión sobre la huella plantar. influencia de los distintos calzados. [Tesis Doctoral]. Alcalá de Henares: Facultad de Medicina de la Universidad de Alcalá de Henares;1.991.
14. Borelli JA. De motu animalium. B. Napoli; 1680.
15. Viladot Perice A., Viladot Voegeli A. La marcha humana. *Revista ortopédica de traumatología* 1999; 34:99-108.
16. Gortari C, Barbáchano C. El cine: arte, evasión y dólares. Barcelona: Salvat; 1.985.
17. Graham I. Enfoque científico: escena y pantalla. Luis Vives; 1.996
18. Medina, F. Gran historia ilustrada del cine. Madrid: Sarpe; 1.984
19. Gowitzke BA, Milner M. El cuerpo y sus movimientos. Bases científicas. Barcelona: Paidotribo; 1.999.
20. Lavigne A, Noviel D. Estudio clínico del pie y terapéutica por ortesis. Barcelona: Masson; 1.994.
21. Comín Comín M, Villarroya Aparicio A, Pérez García JM, Nerín Ballabriga S, Marco Sanz C. Análisis de las presiones plantares. Técnicas y aplicaciones. *Medicina de Rehabilitación* 1999; 12 (3): 22-30.

22. Plas F, Viel E, Blanc Y. "La marcha humana". Barcelona: Masson; 1996.
23. Merriman Linda M. Tollafield David R. Assessment of the lower limb. Churchill Livingstone; 1.995.
24. Viladot Pericé A, Viladot Voegli A. "La marcha humana". Revista de Ortopedia y Traumatología. 1990; 34 (1): 99-108.
25. Inman VT, Ralston HJ, Todd F. "Human Walking". Baltimore: Williams and Wilkins; 1981.
26. Libotte M, Zygaz P, Giudici S, Noel B. Podometrie electronique, deux annees d'experience : rapport preliminaire. Acta Orthop. Belg. 1992 ; 58: 448-452.
27. Henning EM, Cavanagh PR, Albert HT, Macmillan NH. A piezoelectric method of measuring the vertical contact stress beneath the human foot. J Biomed Eng 1982; 4: 213-221.
28. Hughes J, Pratt L, Linge K, Clark P, Klenerman L. Realibity of pressure measurements: The EMED F-System. Clin. Biomech. 1991; 6: 14 –18.
29. Phillipson A, Dhar S, Linge K, McCabe CH, Klenerman L. Forefoot artroplasty and changes in plantar foot pressures. Foot Ankle 1994; 15,11: 595-598.
30. Ferrandis R, García Belenguer AC, Guerrero A, Hoyos JV. Aplicación de Biofoot/IBV al diseño de ortesis plantares. Cuadernos de Información. Valencia: IBV; 1997.
31. Brizuela G, Ferrandis R, Vidal MN, Ferrús E, González JC. Mejora de las prestaciones en las botas de fútbol. Selección 1997, 6 (3); 113-119.
32. Hoyos JV, Brizuela G. Análisis cinético y cinemático simultáneo mediante la sincronización de DINASCAN/IBV y KINESCAN/IBV. Cuadernos de información; 1998.