

Journal of Human Sport and Exercise *online*

J. Hum. Sport Exerc.

Official Journal of the Area of Physical Education and Sport.

Faculty of Education. University of Alicante. Spain

ISSN 1699-1605

An International Electronic Journal

Volume 2 Number 2 July 2007

LA INSTRUMENTACIÓN EN LA BIOMECÁNICA DEPORTIVA

INSTRUMENTATION IN SPORTS BIOMECHANICS

D. Pedro Pérez Soriano y D. Salvador Llana Belloch
Departamento de Educación física y deportiva. Universitat de Valencia.

Adress for correspondence:

Dr. D. Pedro Pérez Soriano
pedro.perez-soriano@uv.es

RESUMEN

La biomecánica deportiva emplea una serie de herramientas y técnicas de instrumentación para el análisis de las diferentes disciplinas físico-deportivas, así como también para el desarrollo de nuevos materiales y equipamiento deportivo. Sin embargo, estas herramientas empleadas actualmente, poseen su cuerpo de conocimientos teóricos en los conocidos como “*precursores de la biomecánica*”: Aristóteles, Da Vinci, Galileo, Descartes, Borelli, Newton, etc... El documento, presenta diferentes técnicas instrumentales desarrolladas para evaluar y aportar información relevante en la ejecución físico-deportiva, así como contribuir en la disminución de la epidemiología deportiva. Entre las principales herramientas y técnicas instrumentales, se describen aquellas destinadas al análisis cinemático y cinético, como: los cronoscopios (y herramientas asociadas en su utilización, como las fotocélulas, micrófonos y las plataformas de contacto), y diferentes técnicas instrumentales, como la fotogrametría y cinematografía (fotografía y cámaras de video, cineradiografía, y resonancia magnética), electrogoniometría, electromiografía, dinamografía (células de carga y plataforma dinamométrica), acelerometría, electrodinografía, presurometría (plataforma/esterillas de presiones y plantillas instrumentadas), y finalmente las técnicas de modelado y simulación (MEF y CFD). **Palabras clave:** deporte, evaluación, técnicas instrumentales, biomecánica.

ABSTRACT

Sports biomechanics uses a number of instrumentation techniques and tools for the analysis of various physical and sports activities, and also for the development of new sports materials and equipment. However, the tools used today are based on a theoretical body of knowledge by the so-called “*forerunners of biomechanics*”, including Aristotle, Da Vinci, Galileo, Descartes, Borelli, and Newton. This paper presents a number of instrumental techniques which provide and assess relevant information in physical and sports performance, and also help to reduce sports-related injuries. Amongst the main instrumental techniques and tools, this paper lists those used for kinematic and kinetic analysis, such as chronoscopes (and other tools related to their usage, such as photocells, microphones and contact platforms). Also, mention is made of various instrumental techniques, such as photogrammetry and cinematography (photography and video cameras, cineradiography and magnetic resonance), electrogoniometry, electromyography, dynamography (load cells and dynamometric platform), accelerometry, electrodynography, pressurometry (pressure platforms/mats and instrumented insoles), and, finally, modelling and simulation techniques (MEF and CFD). **Keywords:** sports, assessment, instrumental techniques, biomechanics

INTRODUCCIÓN

Entre las principales contribuciones de la biomecánica al área de las ciencias de la actividad física y el deporte, destaca el desarrollo de herramientas, técnicas instrumentales y metodologías de análisis. De hecho, Aguado y cols (1997) señalan entre los objetivos de la biomecánica deportiva, el “*ofrecer nuevos aparatos y desarrollar metodologías de registro*”. En la mayoría de los casos, estas herramientas empleadas para el estudio de la biomecánica del movimiento humano, determinan el tipo de análisis que es posible realizar, estando en ocasiones las variables biomecánicas de interés, supeditadas por la disponibilidad y/o acceso a la instrumentación necesaria.

Generalmente, las herramientas y/o tecnologías necesarias están desarrolladas, sin embargo cabe mencionar una serie de aspectos en su utilización, entre los que destacan:

- El coste económico que supone el acceso a determinados instrumentos y metodologías.
- El tiempo necesario para el entrenamiento y funcionamiento de herramientas muy sofisticadas.
- La dificultad de instrumentar al deportista con herramientas que puedan interferir negativamente en su ejecución.

La utilización de estos instrumentos, permite contribuir de manera satisfactoria tanto al deporte de alto rendimiento, como a las diferentes actividades físicas que diariamente se realizan. Así, Brizuela y Llana (1987), desde la perspectiva del rendimiento señalan que “*estas técnicas instrumentales permiten cuantificar la calidad técnica de los movimientos de los deportistas de élite, crear modelos técnicos o patrones de movimiento, y establecer comparaciones con ellos mismos en distintos períodos de entrenamiento o con otros deportistas*”. Pero no solo son útiles para el deporte de competición, sino que desde la perspectiva de la actividad física, también se emplean para analizar acciones en nuevas prácticas deportivas (*Spinning, Nordic Walking, Pilates, Aquaerobic, Taichi, etc...*), así como para el análisis de máquinas o aparatos deportivos (máquinas de musculación, máquinas para el fitness, etc...). Además del análisis en estas técnicas y acciones deportivas, la instrumentación en biomecánica deportiva también contribuye al rendimiento y la calidad de vida de los deportistas mediante la evaluación de pavimentos o superficies deportivas (Durá, 1999; Nigg, 1987; Pérez, 2004) y material deportivo (Llana, 1998, Martínez y cols, 2002), especialmente mediante el desarrollo de herramientas y técnicas instrumentales específicas para cada deporte.

La aparición de instrumentación específica en el análisis biomecánico y deportivo, no se produjo hasta estar bien estructurados la base de los conocimientos de la mecánica. Para ello, habría que remontarse hasta la época del inglés Isaac Newton (1642-1727), que tras su publicación de la famosa “*Leyes de Newton*”, podría considerarse como la última gran contribución de los precursores de la biomecánica (Aristóteles (384-322 a.C), Leonardo Da Vinci 1452-1519), Galileo Galilei (1564-1642), René Descartes (1596-649, y Giovanni Borrelli (1608-1689)), en base a los conocimientos de la mecánica, y punto de partida para el desarrollo de las técnicas y metodologías para el estudio de los seres vivos.

HACIA LA INSTRUMENTACIÓN EN LA BIOMECÁNICA DEPORTIVA.

La principal herramienta con la que se ha contado hasta la instrumentación actualmente empleada en el área de las ciencias de la actividad física y el deporte, y concretamente en la biomecánica deportiva, ha sido la observación y experiencia de los profesionales, que gracias a la apreciación de errores han sido capaces de aportar soluciones a sus deportistas. Del mismo modo, podría considerarse el metro, y posteriormente el cronómetro (en segundos, décimas, y en centésimas de segundo finalmente) como los primeros instrumentos empleados para analizar la evolución y el rendimiento deportivo, seguidos de otros como las cámaras de fotografía y/o video.

Sin embargo, en la medida que el deporte se ha ido profesionalizando, aumentando el nivel técnico y táctico de los deportistas y sus competidores, así como los avances en diferentes áreas del deporte: fisiología, psicología, didáctica, nutrición, etc ..., estos instrumentos son poco útiles para analizar la evolución del rendimiento y aportar “*feedback*” a la ejecución a los deportistas. Por este motivo, diferentes técnicas instrumentales han sido desarrolladas para evaluar y aportar información relevante en la ejecución deportiva, así como contribuir en la disminución de la epidemiología en determinados deportes, y por lo tanto, mejorar la calidad de vida de los deportistas.

Entre las principales herramientas y técnicas instrumentales destacan:

- a) Las destinadas al análisis cinemático del movimiento: las cuales describen el movimiento, sin tener en cuenta las causas que lo producen o afectan. Al respecto, las variables frecuentemente analizadas están relacionadas con el tipo de desplazamientos, velocidades y aceleraciones.
- b) Las destinadas al análisis cinético del movimiento: las cuales permiten obtener información sobre las causas (cargas mecánicas) que generan el movimiento, o las producidas durante el mismo. Son analizadas fuerzas, momentos o presiones que actúan en el cuerpo humano tras su interacción con el medio.

Se presenta a continuación una descripción de determinadas herramientas y técnicas instrumentales empleadas en la biomecánica deportiva para analizar estas variables de tipo cinemático, cinético, o bien ambas conjuntamente.

1) **CRONOSCOPIOS.**

Según las necesidades, existe una gran variedad de instrumentos capaces de medir el tiempo (parciales o finales en determinadas disciplinas deportivas, o entre diferentes acciones). En este sentido, la herramienta empleada para este tipo de mediciones es un cronoscopio (o cronómetro), que conectado a diferentes métodos de accionamiento (electrónicos o mecánicos), responden ante diferentes eventos. El cronómetro se inicia en un instante de tiempo previamente seleccionado, frecuentemente cuando se inicia el movimiento, y se detiene en otro instante de tiempo deseado. En ocasiones, este cronómetro es fabricado por el propio investigador, entrenador u atleta, adaptándolo a los tiempos deportivos necesarios.

Entre las herramientas empleadas para la medición de tiempos con un cronómetro destacan:

Las fotocélulas.

Elemento que actúa como interruptor al paso a la corriente eléctrica, generando un haz de luz infrarroja y detectando si éste se mantiene o ha sido cortado. Existen dos tipos de fotocélula según su funcionamiento: tipo reflex (figura 1) y de barrera. Su aplicación frecuentemente está relacionada con la activación de un cronómetro, aunque también pueden accionar otros dispositivos.



Figura 1.- Fotocélula reflex.

Las plataformas de contacto.

Son elementos sencillos que funcionan al igual que las fotocélulas como un interruptor que acciona un cronómetro en el instante del contacto. En la mayoría de las ocasiones son empleadas para registrar tiempos de vuelo (figura 2), y por consiguiente la altura alcanzada en un salto vertical, sin embargo su uso es frecuente en el accionamiento en diferentes tipos de instrumental.



Figura 2.- Plataforma de contacto (Herrero y cols. 2003).

Otro tipo de instrumentos similares a las plataformas de contacto (cuyo funcionamiento es a través de transductores de presión, generalmente piezoeléctricos), son las superficies flexibles o plataformas de presión. Sin embargo, por las características en su funcionamiento y por tener una aplicación mayor (no únicamente la adquisición de tiempos), serán descritos en el apartado de técnicas presurométricas.

Micrófonos.

Elementos que permiten, tras superar un determinado umbral de sonido, cerrar un circuito eléctrico que acciona/detiene un cronómetro (figura 3).



Figura 3.- Micrófono.

Otros dispositivos combinados.

Como sucede en la mayor parte de la instrumentación en biomecánica, estos instrumentos no solo se emplean de manera aislada, e incluso la necesidad del entrenador o investigador hace que muchos de ellos se adapten para analizar una o determinadas variables. Se presentan a continuación dos ejemplos:

- a) Combinación entre fotocélulas y micrófonos.

Además de la aplicación en disciplinas atléticas (como por ejemplo, los 100m lisos en atletismo), la sucesión de diferentes fotocélulas interconectadas a un cronómetro, en un plano frontal (señal de inicio) y un micrófono (señal de finalización), podría ser útil para analizar la velocidad en distintas disciplinas deportivas como por ejemplo: el lanzamiento de balonmano, el saque en tenis, el “*swing*” en golf, etc...

- b) Aplicación de la plataforma en el medio acuático.

Tal y como se ha comentado anteriormente, las plataformas están muy relacionadas con la puesta en funcionamiento o finalización de un cronómetro. Sin embargo, la información y la aplicación de éstas puede ser diversa. Muestra de ello es el cronómetro subacuático “*Swimtimer*”® (Pérez y cols.2006) (figura 4), que gracias a su combinación con una plataforma de contacto, informa al nadador de sus tiempos parciales, totales, número de virajes, velocidad, y en su última versión, transmitir información del técnico tras el viraje del nadador.

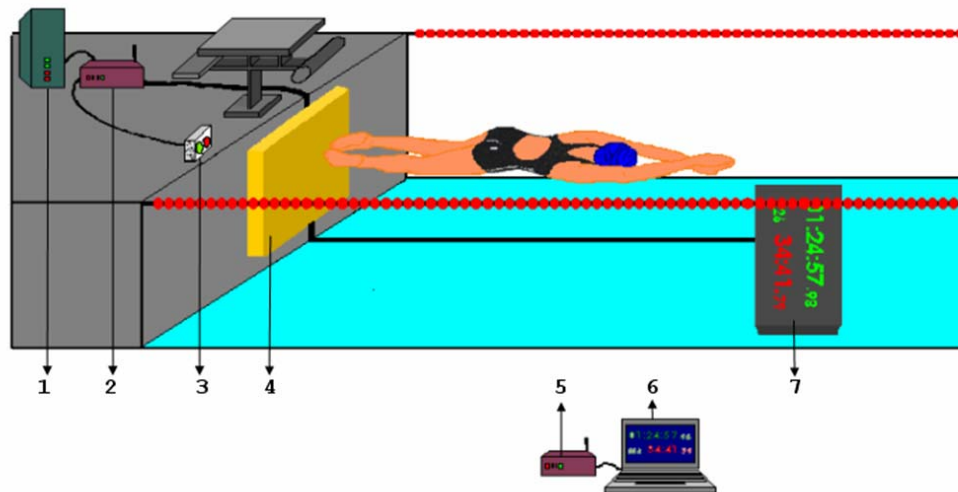


Figura 4.- Cronómetro subacuático.

2) FOTOGRAMETRÍA Y CINEMATOGRAFÍA.

Cámaras fotográficas.

Dado que el ojo humano no es capaz de retener la totalidad de una acción, debido fundamentalmente al parpadeo, un gran número de investigadores dedicó gran parte de sus esfuerzos al desarrollo de herramientas capaces de ofrecer imágenes en movimiento permanentemente. En este sentido, previo a la secuenciación de imágenes, existió la “imagen”, que gracias al francés Nicéphore Niepce (1765 – 1883) fue posible tras inventar en 1827 la cámara fotográfica.

A partir del desarrollo de la cámara fotográfica y con el paso del tiempo, la secuenciación de imágenes irá adquiriendo una mayor resolución espacial y temporal. Sin embargo, los avances se producen paulatinamente, pasando por la fotoseriación de imágenes (fotografía cronocíclica), fotografía estroboscópica y la fotografía de huella luminosa (figura 5).

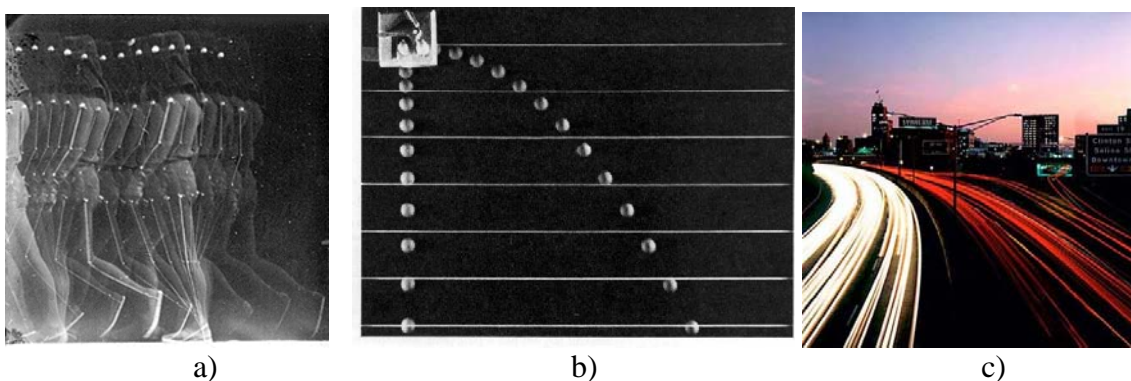


Figura 5.- a) fotografía cronocíclica, b) fotografía estroboscópica y c) fotografía de huella luminosa.

El francés Étienne Jules Marey (1830-1904) y el inglés Eadweard Muybridge (1830-1904) podrían ser considerados dentro de la biomecánica, los precursores en la utilización de las cámaras de fotografía para el análisis del movimiento. Marey por su contribución en el estudio del vuelo de los animales, y Muybridge por el primer estudio con fotografías seriadas (gracias a 24 cámaras electrofotográficas que se activaban secuencialmente).

Es a partir del desarrollo de la cámaras fotográficas, cuando la biomecánica deportiva aporta conocimientos, en distintas disciplinas deportivas, mediante el análisis de variables cinemáticas de interés como: la posición del centro de gravedad, posición y rangos de movimiento en determinadas articulaciones, velocidades, trayectorias, etc...

Cámaras cinematográficas.

Pese a que inicialmente las cámaras de cine (figura 6) tuvieron una mayor resolución temporal (cine super 8 (4,2 x 5,7mm): 250 imágenes /s, cine 16mm(7,5 x10,3mm): 500 imágenes /s, cine 32mm (18x 24mm): 500 imágenes /s), actualmente las cámaras domesticas (25– 30 imágenes/s), las digitales 30 -60 imágenes/s), y las de alta velocidad (algunas incluso 1500 imágenes/s) han descartado el uso de las cámaras de cine en la biomecánica deportiva (figura 7).



Figura 6.- Cámara cinematográfica.

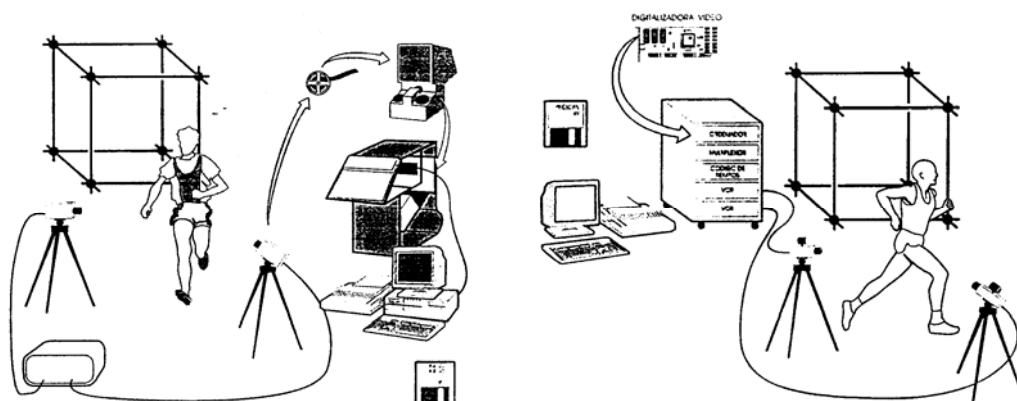


Figura 7.- Síntesis del proceso de grabación y digitalización de escenas grabadas con cámaras de cine y video (modificado de Vera y Hoyos, 1993).

El empleo de una o varias cámaras sincronizadas entre sí, permite la digitalización de imágenes para la realización de un análisis plano (2D) u tridimensional (3D). En este sentido, cabe destacar en los últimos años, la evolución de dos aspectos en el proceso de digitalización (figura 8):

- a) La rapidez en la obtención de las imágenes a digitalizar en las cámaras de video (analógico y/o digital).
- b) La digitalización automática.



Figura 8.- Sistema VICON Peak®

Otras cámaras:

a) Cámaras de cinerradiografía.

Consisten en otro tipo de cámaras cuya técnica consiste en sincronizar la cámara con una máquina de radiografía (rayos X) o máquina fluoroscópica, de tal modo que permitan filmar el movimiento del sistema óseo durante una acción determinada (figura 9).



Figura 9.- Acción filmada con una cámara de cinerradiografía.

b) Imagen resonancia magnética.

Cámara empleada para analizar el comportamiento de los tejidos y movimientos internos del cuerpo. En este tipo de cámaras, el color mostrado en la imagen es muy importante para identificar la posición y el desplazamiento de órganos internos y tejidos (figura 10).

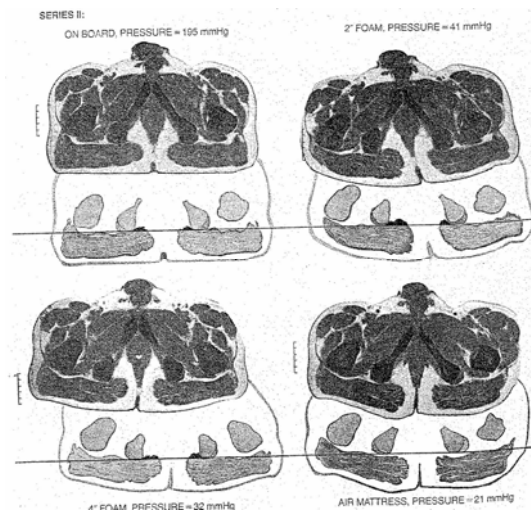


Figura 10.- Acción filmada sobre los tejidos blandos en la pelvis y en diferentes superficie con una cámara de resonancia magnética.

3) ELECTROGONIOMETRIA.

Los electrogoniómetros (figura 11) son transductores de ángulos, que al colocarse en una articulación determinada, permiten conocer la evolución de la posición angular en el tiempo. Frecuentemente se utilizan para medir diferentes segmentos del rquis en posición esttica con respecto al ROM de una articulación. También son empleados con frecuencia en análisis de laboratorio, y en función de su tipología: uniaxial, biaxial o triaxial, obtener deferentes coordenadas de una articulación.

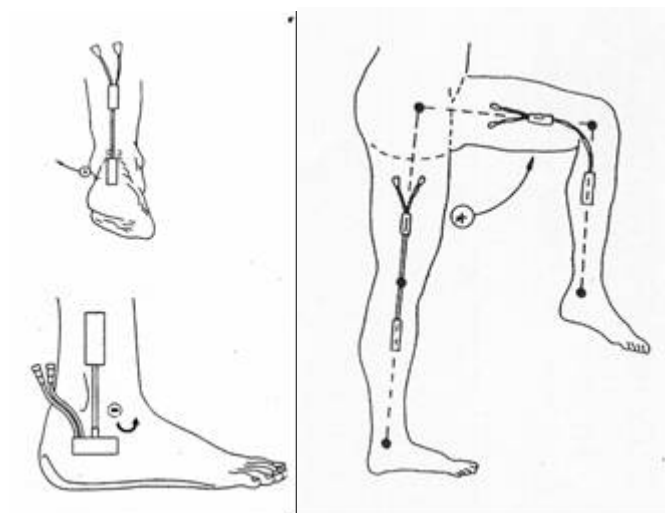


Figura 11.- Electrogonimetro.

4) ELECTROMIOGRAFÍA.

La electromiografía (figura 12) es un proceso en el cual se analizan los cambios eléctricos que ocurren en el músculo durante o inmediatamente antes de la contracción. Para su utilización es necesario un instrumento que recoja la actividad eléctrica (como un conductor de los impulsos eléctricos), y otro instrumento que los traduzca en señales

visuales. La recogida de los impulsos se realiza mediante unos discos de electrodos metálicos localizados encima de la piel o mediante finos cables insertados en el músculo. Frecuentemente, la electromiografía suele emplearse combinada con la utilización de electrogoniómetros.

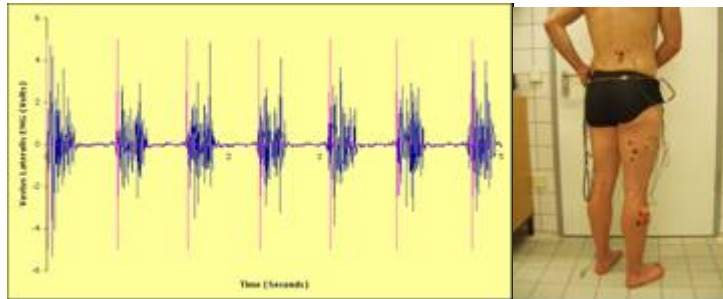


Figura 12.- Electromiografía.

5) DINAMOGRAFÍA.

La dinamografía es una técnica que permite medir la fuerza realizada durante una acción determinada, es decir, permite obtener información sobre las cargas mecánicas que generan el movimiento o las que se producen durante la realización de movimiento. Pese a que ha sido utilizada por la ingeniería durante décadas, no se utilizó para el análisis de la fuerza humana aplicada a acciones deportivas hasta principios del 1960.

En sus orígenes, la dinamografía únicamente medía el máximo de fuerza estática, y para ello empleaba un muelle junto con un cable que recogía la tensión muscular (figura 13).

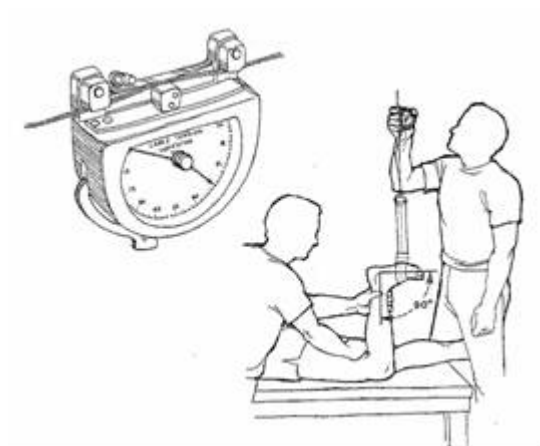


Figura 13.- Instrumento de dinamografía mediante un cable tensiómetro.

Sin embargo, en las últimas décadas, captadores de tensión como: sensores de resistencia, sensores de presión y eléctricos han permitido desarrollar un gran número de herramientas capaces de registrar la fuerza, momentos y presiones que actúan sobre

el cuerpo humano en su interacción con el medio, y en distintas acciones deportivas (figura 14): Palas de Kayac, plantillas de fuerza, sensor de fuerza propulsiva tras un viraje en natación, pedales instrumentados, esquís instrumentados, etc...

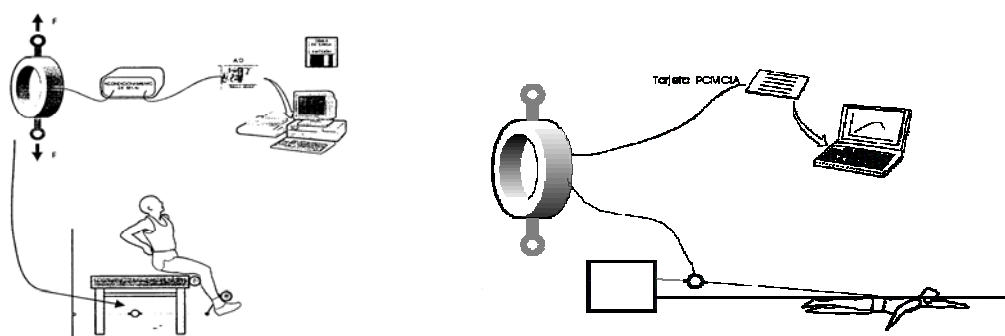


Figura 14.- Aplicaciones de los transductores de fuerza en 2 situaciones deportivas.

La eficiencia en la aplicación de fuerza que es capaz de generar el deportista, necesita el análisis de una serie de variables tales como la cantidad de fuerza óptima, tiempo aplicado, pendiente, dirección y sentido, etc... Algunas de estas variables son analizadas tanto en situaciones de laboratorio como en condiciones reales mediante diferentes herramientas, entre las que destacan los transductores de deformación (como las galgas extensométricas), los transductores extensométricos (como las células de carga), los dinamómetros, y las plataformas de fuerza.

Las plataformas de fuerza.

Esta plataforma llegó a ser la herramienta de análisis más fascinante en el mundo deportivo durante los años 70, siendo utilizada en el estudio de diferentes disciplinas. Permite el registro de las fuerzas de reacción del suelo en sus tres ejes, siendo en la mayoría de las ocasiones un instrumento no transportable (figura 15). Existen de diversos tamaños, diseños y formas, pudiendo ser de dos tipos: piezoeléctricas y extensométricas.

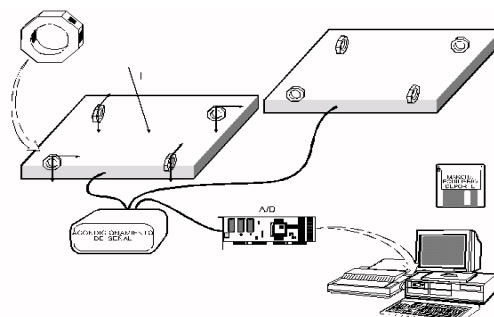


Figura 15.- Esquema funcionamiento plataforma dinamométrica (Vera y Hoyos, 1993).

6) ACELEROMETRÍA.

Los acelerómetros son instrumentos de baja masa, que fijados a un elemento óseo sobre la superficie de la piel, permiten registrar las aceleraciones en un segmento corporal durante la actividad deportiva. Frecuentemente se utilizan para analizar el impacto durante el contacto del pie con el suelo en diversas acciones deportivas: carrera, marcha, acciones que impliquen salto y recepción, etc..., o bien para en diseño de equipamientos (Pérez, P., 2004) (figura 16) y calzado deportivo (Llana, S.,1998). Junto con la utilización de una plataforma dinamométrica es posible analizar el índice de transmisión del impacto en los diferentes segmentos corporales.

Parameter	P-value	Error	Sports surface				
			A	B	C	D	E
t_{floor} (s)	0.000	± 0.006	0.387	0.427	0.390	0.413	0.434
t_{air} (s)	0.000	± 0.003	0.566	0.566	0.562	0.574	0.545
a_{head} (g)	0.000	± 0.07	3.39	3.02	3.24	2.96	2.87
a_{tibia} (g)	0.040	± 1.43	15.99	13.07	18.55	15.35	12.97
θ_{ankle}^* (°)	0.000	± 0.34	29.71	29.25	29.01	34.84	26.50
θ_{knee}^* (°)	0.000	± 0.90	92.61	92.22	89.03	84.23	94.06
θ_{hip}^* (°)	0.000	± 1.02	90.47	94.28	89.18	98.40	93.47

*The interaction between the surface and the subject was significant

Figura 16.- Aceleraciones en cabeza y tibia (a_{head} (g) y a_{tibia} (g)) en diferentes superficies deportivas (Dura y cols. 1999).

7) ELECTRODINOGRAFÍA Y PRESUROMETRÍA.

El estudio de las cargas mecánicas y su distribución en la planta del pie, ha sido frecuentemente analizado en la biomecánica deportiva, no solo desde la perspectiva del rendimiento deportivo, sino también desde la prevención de lesiones (personalización de plantillas, identificación de criterios para un calzado deportivo específico, etc...).

El primer sistema desarrollado para la medición de fuerzas verticales de reacción, fue desarrollado por Jules Marey mediante la utilización de sensores neumáticos insertados dentro de las zapatillas (figura 17).

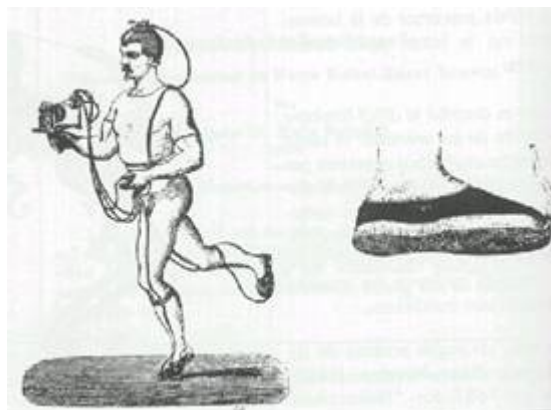


Figura 17.- J. E. Marey - Sensor neumático (Campos, J. 2001).

Posteriormente, se desarrollaron las plantillas de fuerza capaces de registrar la fuerza vertical de reacción sin influir en la patrón natural de locomoción. Sin embargo, el uso de 6 sensores ubicados en el pie, dio origen a las técnicas de electrodinografía (figura 18), más útil en el estudio de las cargas mecánicas.



Figura 18.- Electrodinografía.

Finalmente, se han desarrollado herramientas que utilizan sistemas de medición de presiones (generalmente piezoeléctricos), que permiten el registro y análisis de la distribución de presiones en el apoyo dinámico del cuerpo humano. Destacan, las superficies flexibles, las plataformas presiones, y las plantillas y/o “guantes” instrumentados. Éstos últimos, permiten el registro y análisis dinámico de la distribución de presión durante la interacción pie-calzado (o interacción de la mano con un objeto, por ejemplo una pelota) (figura 19).

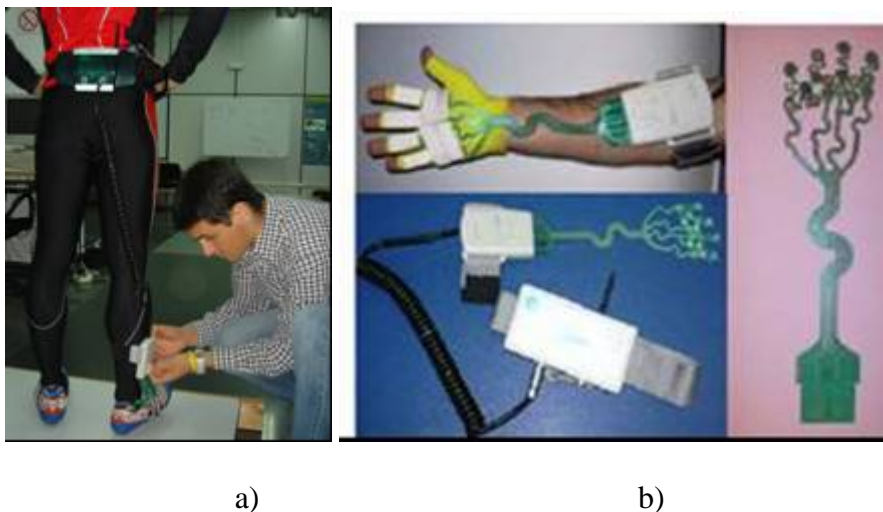


Figura 19.- a) Instrumentación ciclista con plantillas instrumentadas y b) Guante instrumentado (Pérez, P; Llana, S. 2004).

8) MODELADO Y SIMULACIÓN.

Diversos investigadores han combinado modelos matemáticos con las características anatómicas de un cuerpo, con el fin de predecir la ejecución y/o desarrollo de nuevas técnicas en determinados deportes. Para ello, ha sido necesaria en el desarrollo de estas técnicas la colaboración de expertos en matemáticas, anatomía, física, informática y técnicos deportivos, que gracias a la información obtenida por herramientas como la cinematografía, electromiografía, acelerometría, etc.. han sido capaces de desarrollar modelos de ejecución. Posteriormente, se introducen para la simulación en el ordenador los valores de aquellos parámetros relevantes y sus límites (o posibles rangos), y mediante la utilización de algoritmos de movimiento, se puede conocer como varía una determinada acción en función del tiempo, velocidad, rango de movimiento (ROM), etc...

Estas técnicas de simulación no solo son empleadas para el análisis de técnicas deportivas. En este sentido, el diseño y desarrollo de material y equipamiento deportivo también emplea técnicas de simulación, por ejemplo para analizar la amortiguación de un calzado deportivo ante una carga repetitiva (durante la carrera, por ejemplo), o bien analizar el comportamiento y durabilidad de un pavimento deportivo. Para ello, el método de los elementos finitos (MEF) es un método numérico muy general para la resolución de ecuaciones diferenciales, muy utilizado en diversos problemas de ingeniería y física así como fácilmente adaptable a problemas de difusión de calor, de mecánica de fluidos para calcular campos velocidades y presiones (fluidodinámica – CFD) (figura 20) o de campos electromagnéticos.

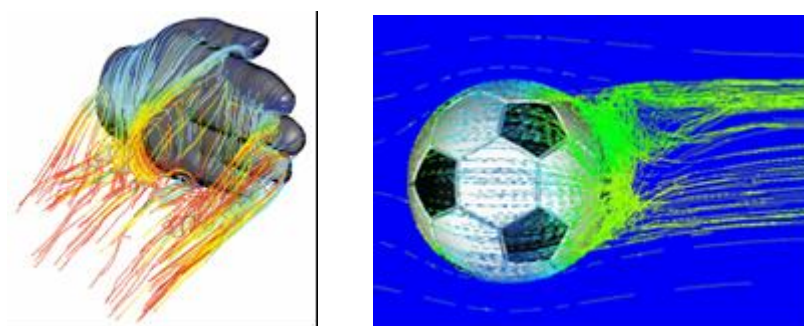


Figura 20.- Fluidodinámica - Bixler (CFD).

CONCLUSIONES.

En general, se puede observar la existencia de un gran número de técnicas e instrumentos empleados por la biomecánica deportiva para el análisis del ser humano y sus implementos durante la práctica deportiva. No obstante, la gran variedad en la instrumentación hace prácticamente imposible que todas las herramientas sean descritas, dado que algunas de ellas, son específicas de cada disciplina deportiva o se han desarrollado específicamente para analizar una determinada variable deportiva.

Sin embargo, más que la disponibilidad de una herramienta para la realización de un estudio biomecánico, mayor es la importancia en la selección de la herramienta adecuada. Y en este sentido, permitir analizar las variables deseadas directamente, la facilidad de instrumentación en el deportista en caso necesario (o por el contrario, su

instalación en el recinto deportivo), y sus posibilidades de sincronización con otros instrumentos, son factores importantes a considerar en la elección del instrumental.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Abbot, A. V; Wilson, D. G. *Human-Powered vehicles*. Champings, IL: Human Kinetics; 1995.
2. Aguado, X.; Izquierdo, M.; González, J.L. (1997). *Biomecánica fuera y dentro del laboratorio*. Ed. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de León.
3. Aguado, X.; Izquierdo, M.; González, J. L. *Biomecánica dentro y fuera del laboratorio*. León: Universidad de León: 1997.
4. Campos, J. *Biomecánica y Deporte*. Valencia, Ed. Ayuntamiento de Valencia. Colección: Aula Deportiva Técnica. 2001.
5. Brizuela, G.A; Llana, S (1987) *Herramientas y técnicas para el análisis biomecánico. El análisis de la práctica deportiva; una visión multidisciplinar*. Promolibro, Valencia.
6. Durá, J.V. *Análisis biomecánico de los pavimentos deportivos y protocolización de ensayos para su evaluación [tesis doctoral]* Valencia (España): Universidad Politécnica de Valencia;1999.
7. Durá, J.V; Hoyos, J.V; Lozano, L; Martínez, A (1999) *The effect of the shock absorbing sports surfaces in jumping*. En *Sports Engineering*; 2:103-108.
8. Martínez, A; Pérez, P; Gámez, J; González, J.C; Dueñas, L; Ferrándis, R. *Design criteria for soccer footwear on earth pitches*. En: Kostas E. Gianikellis, Editor. *Proceedings of the XXTH Internacional Symposium on the Biomechanics in Sports*; Julio 2002; Cáceres, España. p.589-592.
9. Gutierrez, M. (1998). *Biomecánica deportiva: bases para el análisis*. Madrid (España); Síntesis, S.A.
10. Hennig, E. M., & Milani, T. L. (1995). *In-shoe pressure distribution for running in various types of footwear*. *Journal of Applied Biomechanics*, 11(3), 299-310.
11. Llana, S (1998) *Análisis del calzado técnico de tenis atendiendo a criterios epidemiológicos, de confort y biomecánicos*. Tesis doctoral. Valencia (España). Universidad de Valencia.
12. Nigg, B.M; Yeadon, M. R. (1987). *Biomechanical aspects of playing surfaces*. En *Journal of Sports Science*. 5: 117-145.
13. Pérez, P. (2004). *Análisis de parámetros biomecánicos durante la recepción en colchonetas y su influencia en los mecanismos de lesión en gimnasia deportiva*. Tesis Doctoral. Colección *Tesis Doctorales en CD-ROM* Universitat de Valencia.
14. Pérez, P;Llana, S; Zahonero, J; García, E. (2006). *Nuevo sistema tecnológico aplicado a la mejora del proceso enseñanza – aprendizaje de la natación mediante la intervención del feedback inmediato percibido por el nadador*”. Comunicaciones técnicas.

15. Pérez, P; Llana,S (2004). Aportaciones de la Biomecánica deportiva al juego de la pelota valenciana”. Revista electrónica RENDIMIENTO DEPORTIVO.COM. <http://www.Rendimientodeportivo.com/n009/Artic042.htm>.
16. Terauds, J. Ed.(1979). Science in biomechanics cinematography. Del mar,CS: Academic publishers.
17. Vera,P; Hoyos,J.V. (1993). Técnicas instrumentales desarrolladas por el instituto de Biomecánica de Valencia (IBV) para el análisis de las actividades humanas.Ed: Instituto de Biomecánica de Valencia.
18. Zatsiorski, V.; Fortney, V. Sport Biomechanics 2000. Journal of Sports Sciences, 1993, 11: 279-283.
19. Herrero, J.A; García, D; García, J. (2003). Influencia de la estimulación eléctrica neuromuscular sobre diferentes manifestaciones de la fuerza en estudiantes de educación física.. <http://www.efdeportes.com/> Revista Digital. Buenos Aires. (8); 58.