

EL ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO HUMANO

Apuntes de Clase



Por:

Gustavo Ramón S.*

** Doctor en Nuevas Perspectivas en la Investigación en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte (Universidad de Granada).*

Docente - Investigador del Instituto Universitario de Educación Física, Universidad de Antioquia (Colombia).

Correo: gusramon2000@yahoo.es

EL ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO HUMANO

El objetivo primario de un curso de estudio en educación física es ayudar al estudiante a entender la naturaleza y función del movimiento humano en el deporte, danza, recreación y actividades adaptadas. El profesional competente debe estar bien versado en el conjunto de conocimientos de este campo especializado, el cual depende de numerosas disciplinas.

Dentro del amplio campo de la Biomecánica y la Kinesiología, el educador físico o el entrenador pueden estudiar el movimiento humano desde una variedad de perspectivas - psicológicas, filosófica, sociológica o fisiológica. En un curso de pregrado o posgrado, la Kinesiología es el título que se le da a un curso que implica el estudio de la anatomía y las bases mecánicas del movimiento humano relacionado específicamente con la danza, deporte o actividades adaptadas.

La combinación del conocimiento de la biología, las propiedades materiales del esqueleto, el sistema neuromuscular, las leyes y principios de la mecánica dan origen al desarrollo de un nuevo campo: la biomecánica. Generalmente, la biomecánica es definida como el área de estudio del conocimiento y los métodos de la mecánica que son aplicados a la estructura y función del sistema de locomoción humana. La biomecánica no es un área de estudio reservada tan sólo para los educadores físicos o los entrenadores.

La biomecánica es usada por diversas disciplinas que incluyen la biología, la fisiología, la medicina y la mecánica. Muchos profesionales -ingenieros, terapistas físicos, cirujanos ortopédicos o ingenieros aeroespaciales- hacen aplicaciones prácticas de la misma. Un ingeniero biomédico puede estudiar las propiedades biológicas y materiales del cuerpo humano y sus aspectos mecánicos para entender el flujo de sangre dentro de las arterias. El conocimiento obtenido puede entonces ser aplicado para ayudar a reducir los problemas circulatorios. Un ergónomo puede estudiar las características del cuerpo humano y los aspectos mecánicos de sus movimientos que son empleados o necesarios en su puesto de trabajo. Tal conocimiento capacita al ergónomo para determinar la altura más eficiente de una mesa de trabajo o para determinar el espacio adecuado entre un puesto de trabajo y otro. Un profesor de educación física o un entrenador estudia las características físicas del cuerpo humano y los principios de la mecánica para guiar la efectividad de los movimientos que realiza el atleta.

La información acerca del crecimiento y estructura de los huesos, las articulaciones y músculos puede ser usado para determinar si un movimiento es apropiado o no para una variedad de grupos etáreos. En este sentido, es importante el conocimiento derivado de la biomecánica cuando se requiere analizar la cualidad de los movimientos.

Para estudiar el movimiento humano se utilizan dos procedimientos: el análisis cuantitativo y el cualitativo. El análisis cuantitativo implica la descripción de los movimientos del cuerpo o sus partes, en términos numéricos. Tal cuantificación de las características del movimiento ayuda a eliminar las descripciones subjetivas ya que los datos son obtenidos mediante el uso de instrumentos. El observador puede entonces usar esta cuantificación para explicar o describir la situación actual. Usualmente, este análisis tiene algunos inconvenientes como no ser económico por el uso de los instrumentos o requiere mucho tiempo o es difícil llevar los instrumentos al campo.

El análisis cualitativo intenta describir un movimiento en términos no numéricos. Los datos obtenidos de un análisis cualitativo pueden ser sustentados con un análisis cuantitativo y muchos proyectos de investigación son formulados de esta manera. La evaluación de un análisis cualitativo se basa en la habilidad del entrenador para reconocer los momentos críticos

de la ejecución o del gesto deportivo. Las conclusiones subjetivas basadas en un análisis cualitativo pueden ser rechazadas o confirmadas por un estudio cuantitativo.

Tanto los análisis cuantitativos como los cualitativos proveen información importante acerca de la ejecución; sin embargo, el análisis cualitativo es el método predominante usado por los entrenadores o de los profesores de educación física en el análisis de los movimientos de los atletas o de sus pupilos.

En la mayoría de los casos, es la observación visual el procedimiento empleado. Los vídeos tapes o las filmaciones también pueden ser empleados para el análisis cualitativo.

El video y las filmaciones aumentan el proceso de aprendizaje porque proveen retroalimentación visual al atleta. El profesor o el entrenador debe ser capaz de realizar un análisis cualitativo cuando se usa un film o un video, pero se deben hacer los comentarios inmediatamente después de la filmación para que pueda operar la memoria cenestésica. Los conocimientos de biomecánica del entrenador o profesor llegar a ser muy importantes cuando se desea realizar un análisis refinado. Si no se disponen de equipos de filmación, los pequeños detalles no pueden ser observados debido a la velocidad a la que se suceden y a la poca velocidad de captación del ojo humano.

Si uno está considerando la eficiencia de un movimiento, uno debe incorporar el concepto de trabajo y energía. Un movimiento eficiente es aquel en el cual una cantidad dada de trabajo es hecha con un mínimo gasto de energía. Un movimiento eficiente es una ventaja definitiva para un atleta que desea hacer tanto trabajo como le sea posible sin gastar demasiada energía, tal como un maratonista o un nadador. Un móvil o un motor eficiente permanecen más tiempo a un mismo paso o velocidad, o gasta menos energía a un paso más rápido, que un motor no eficiente. Para la mayoría de las actividades deportivas, sin embargo, el aspecto fundamental no es aprender a ahorrar energía o no consumirla. La biomecánica está mas correlacionada con la *efectividad* de una ejecución, es decir, con la determinación de los movimientos apropiados para ayudar a un atleta a realizar de una manera adecuada y útil los objetivos de su rutina. El grado de esfuerzo o de trabajo requerido o el gasto de energía no es lo importante. Por ejemplo, un corredor de 100 m. puede muy eficiente en una carrera pero quien gana la carrera es el que tenga mayor efectividad, es decir, el que corra más rápido.

Por otra parte, en una carrera de 100m el propósito es correr a la máxima velocidad. Por lo tanto, el esfuerzo deber ser *maximizado o maximal*. Si la carrera es de 5 Km un gasto maximal de energía no puede ser mantenido durante toda la carrera. Debe por tanto, escogerse una velocidad *óptima*, tal que le permita ser efectivo sin llegar a estar en el *mínimo* consumo de energía. La velocidad óptima es la velocidad más rápida que el atleta pueda mantener durante los 5 km. La velocidad de carrera es un ejemplo en biomecánica que frecuentemente debe ser optimizado mas que maximizado o minimizado.

Generalmente, un movimiento efectivo es óptimamente eficiente; pero, un movimiento eficiente máximo no necesariamente es biomecánicamente efectivo. Se trata muchas veces de optimizar la eficiencia para maximizar la efectividad.

OBSERVACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS TÉCNICAS DEPORTIVAS.

Proceso a seguir :

1. Identificación de los objetivos generales del gesto
2. División del gesto en sus fases o partes
3. Identificación de los propósitos mecánicos de las partes
4. Identificación de los factores biomecánicos que determinan el logro de los propósitos mecánicos.
5. Identificación de los principios biomecánicos que relacionan los factores biomecánicos a la ejecución.
6. Enumeración de los factores críticos de cada parte o los movimientos que deberían ser hechos para satisfacer los principios biomecánicos, los propósitos biomecánicos y los propósitos generales.
7. Estructuración del modelo biomecánico
8. Jerarquización de los aciertos y de los errores.
9. Corrección de los errores.

A continuación ampliaremos cada una de las partes de este proceso.

1. *Identificación de los propósitos generales del gesto*

Cada deporte, evento o destreza deportiva puede ser clasificada de acuerdo a los objetivos generales del mismo. Estos son expresados generalmente en términos mecánicos; por ejemplo, en voleibol el propósito del remate es proyectar el balón hacia abajo dentro del campo contrario. Este es un objetivo primario puesto que si el balón no entra al campo contrario, se considera como fuera del juego. Objetivos secundarios son enviar el balón con la máxima velocidad y colocarlo en una parte específica del campo contrario (precisión con velocidad que aumentan la efectividad).

Cuando un gesto o técnica deportiva tiene múltiples objetivos, estos se deben jerarquizar. Para el caso del remate en voleibol, se deben realizar las siguientes preguntas : es la velocidad mas importante que la colocación del remate ?, Este tipo de preguntas son a menudo encontradas en muchos otros deportes en los cuales la velocidad no significa mucho si el objetivo no es golpear. La tabla 1 sugiere una lista de objetivos que pueden servir de base para el análisis de movimientos deportivos.

Tabla1. Objetivos mecánicos de algunos movimientos.

Elaborado GRamónS.

Objetivos	Ejemplo
1. Proyectar un objeto o el cuerpo a una máxima distancia horizontal	Disco, jabalina, salto largo, salto triple.
2. Proyectar un objeto o el cuerpo a una máxima distancia vertical	Salto alto, salto con garrocha, remate en voleibol.
3. Proyectar un objeto con máxima precisión	Dardos, arquería, herradura, tejo, lanzamiento en baloncesto.
4. Proyectar un objeto con máxima precisión cuando la velocidad del proyectil aumenta su efectividad.	Lanzamiento en beisbol, servicio de tenis, remate en voleibol.
5. Manipular una resistencia	Levantamiento de pesas, lucha, judo, recepción de pelota.
6. Mover el cuerpo sobre una distancia preestablecida con o sin restricciones de tiempo.	Carrera de cross country, kayak, canotaje, natación.
7. Mover o colocar el cuerpo o sus segmentos corporales en un patrón preestablecido con el objeto de lograr un modelo ideal.	Gimnasia, trampolinismo, danza.
8. Mover el cuerpo con el objetivo de interactuar con el medio ambiente natural.	Buceo Scuba, surfing, montañismo.

Nota : Basado y adaptado de Kreighbaun y Barthels, (1990), Biomechanics, pp 368.

2. División del gesto en fases o partes

Según Kreighbaun y Barthles, los gestos o destrezas deportivas se pueden clasificar en **cerradas o abiertas**. Las destrezas cerradas son aquellas en las cuales el medio ambiente es predecible o aquellas en las cuales el ejecutante es libre de realizar su destreza sin tener que realizar cambios de decisión a causa de cambios producidos en el medio. Ejemplos de estas son un lanzamiento de jabalina o de un balón al cesto, un servicio de tenis, un salto alto, un pase en fútbol. Por el contrario, la aplicación de una técnica de lanzamiento en lucha o en judo, a cada momento las condiciones del medio están cambiando, y el ejecutante tiene que permanentemente cambiar sus decisiones acerca de la realización de su ejecución. Este tipo de destrezas son abiertas. De acuerdo a esta consideración, la evaluación de este tipo de destreza tiene que incluir la percepción espacial del sujeto.

Desde el punto de vista cinemático, las destrezas pues ser clasificadas de acuerdo a si tiene un inicio y un final preciso -una destreza discreta- o si no parecen tener un inicio y final precisos -destreza continua. Ejemplos de destreza discreta son un servicio de tenis, una parada de manos, un lanzamiento o el bateo. Destrezas continuas son el correr, nadar o montar en bicicleta.

Tanto las destrezas continuas como las discretas pueden ser divididas para su análisis en fases. Para las discretas se encuentran las fases de preparación o inicial, ejecución o principal y final o de recuperación. Los movimientos de una fase determinan o influyen los de la fase siguiente. Desde el punto de vista biomecánico se trata entonces de valorar la influencia de los movimientos de la fase inicial sobre la fase principal, así como los movimientos de la principal sobre los de la final. En los movimientos continuos, la fase final se convierte en la inicial del

movimiento, de manera que en este tipo de movimientos sólo se encuentran dos fases: la principal y la final. No todos los movimientos de tipo continuo se pueden subdividir en dos fases; en ciclismo el pedaleo puede ser dividido en cuatro fases, al ser dividida una rotación completa en cuatro ciclos de 90°.

3. Identificación de los propósitos mecánicos de las partes

Cada movimiento y cada fase del mismo tienen unos propósitos u objetivos tales como acercamiento acelerado o desaceleración súbita, alcanzar la máxima altura, es decir, los factores cinemáticos de tiempo, velocidad o aceleración que se desean con cada una de las fases. En algunos casos, estos propósitos ya están identificados como es el caso en atletismo y en particular en los lanzamientos. Los propósitos del lanzamiento de bala son realizar el movimiento con el máximo de aceleración, con un ángulo de entre 40° y 45°. En otros deportes, el entrenador debe identificarlos.

4. Identificación de los principios biomecánicos que determinan el logro de los propósitos mecánicos.

Los principios biomecánicos son axiomas de la biomecánica, obviamente ya demostrados y reconocidos por su aplicabilidad, los cuales se relacionan con el movimiento en cuestión. A continuación se enumeran los más conocidos:

RELATIVOS A LA VELOCIDAD :

Velocidad Específica: en la mayoría de las destrezas deportivas se involucra la optimización de la velocidad de alguna parte específica del cuerpo de los atletas o de los implementos deportivos.

Sumatoria de velocidades: en las destrezas deportivas, la velocidad final de algún segmento corporal o de un implemento deportivo es el resultado de la sumatoria de las velocidades relativas de los diferentes segmentos.

Velocidad secuencial: la velocidad máxima se deriva de la aplicación oportuna de los diferentes componentes de la velocidad, los cuales deben alcanzar la mayor contribución hacia el final de la ejecución.

Radio del movimiento: la velocidad lineal proviene normalmente de un movimiento angular multiplicado por el radio de la circunferencia o la distancia al eje de giro.

ACELERACIÓN:

Aceleración positiva: un aumento de la velocidad de un cuerpo resulta de una aceleración en la misma dirección y sentido de la velocidad.

Aceleración negativa: una reducción de la velocidad de un cuerpo o de una parte del cuerpo, resulta de una aceleración en sentido contrario al de la velocidad.

Cambio de dirección: un cambio de dirección del movimiento resulta de una aceleración perpendicular a la dirección de la velocidad.

Aceleración gravitacional: en la mayoría de las destrezas deportivas, la aceleración gravitacional modifica el movimiento.

FUERZA :

Relación Fuerza-Aceleración: cada aceleración se asocia con una fuerza externa no balanceada que acciona sobre el cuerpo. La aceleración se produce en la misma dirección de la fuerza y es proporcional a la fuerza.

Relación Fuerza-tiempo: el efecto total de una fuerza sobre el movimiento de un cuerpo es el producto de la magnitud de la fuerza y el tiempo de acción de la misma.

Acción-Reacción : siempre que un cuerpo o una parte del cuerpo aplica una fuerza sobre otro cuerpo o parte de él, el primero recibe, al mismo tiempo, una fuerza de igual magnitud, pero de sentido contrario.

Fuerzas Concéntrica- Excéntrica: en el cuerpo humano, las fuerzas musculares pueden causar movimiento (contracciones concéntricas) y controlar el movimiento o absorber las fuerzas externas (contracciones excéntricas).

Sumatoria de fuerzas: el efecto de la acción de una fuerza que accionan sobre un cuerpo se pueden determinar mediante la sumatoria de las fuerzas, tomando en consideración la dirección de cada una.

Presión: la aplicación de una fuerza sobre una superficie representa la magnitud de la presión.

Peso y masa: el peso representa la fuerza de la gravedad que acciona sobre un cuerpo en dirección vertical hacia abajo. La masa representa la cantidad de materia que posee un cuerpo y su inercia al cambio de movimiento en alguna dirección.

Centro de gravedad: las fuerzas externas modifican el movimiento del centro de gravedad del cuerpo, mientras que las fuerzas internas modifican las partes del cuerpo con respecto al centro de gravedad del mismo cuerpo. Cuando un cuerpo está apoyado, las fuerzas internas pueden cambiar la trayectoria del centro de gravedad. Cuando el cuerpo está en el aire, las fuerzas internas solo modifican la posición de las partes del cuerpo con respecto al centro de gravedad.

Fuerza de fricción: la fuerza de fricción entre dos superficies se realiza siempre en dirección paralela al plano de contacto de las superficies y en dirección opuesta hacia donde se ejerce la fuerza que mueve el cuerpo. Sumagnitud depende de los materiales involucrados, firmeza de las superficies y de la fuerza de presión entre las superficies.

Fuerza centrípeta y centrífuga: un cambio en la dirección de un cuerpo en movimiento requiere de un fuerza dirigida hacia el centro de la trayectoria curvilínea. La reacción de esta fuerza es la fuerza centrífuga que tiene sentido contrario a la primera.

TORQUE :

Brazo momento: el efecto de rotación de una fuerza es directamente proporcional a la distancia desde el eje de giro a la dirección de la fuerza.

Momento de inercia: la inercia de rotación de un cuerpo depende de la masa total involucrada y de la distancia promedio del centro de masa al eje de giro.

Torque-contratorque: siempre y cuando un cuerpo o una parte del cuerpo de él ejerce un torque sobre otro cuerpo o parte del mismo, el primero recibirá un contratorque igual y de sentido contrario.

Equilibrio o balance: el equilibrio rotatorio de un cuerpo requiere que a cada torque que acciona sobre el cuerpo le corresponda un torque de igual magnitud pero de sentido contrario.

ENERGÍA :

Relación Fuerza-distancia: la transferencia de energía de un cuerpo o parte del cuerpo a otro cuerpo depende de la fuerza que acciona sobre una distancia determinada.

Energía cinética: el cambio de velocidad de un objeto requiere de una fuerza que acciona sobre una determinada distancia, ya que la energía cinética depende del cuadrado de la velocidad.

Energía potencial: cuando se produce un trabajo mediante la distorsión de un objeto o mediante la elevación del objeto en contra de la gravedad, se almacena energía potencial.

Transformación de energía: en casi todas las acciones del cuerpo humano se realizan transformaciones de energía, de una forma en otra, y el estereotipo de la forma perfecta es aquel en el que la transformación de energía se realiza en forma más eficiente.

POTENCIA :

Relación Fuerza-Velocidad : la fuerza máxima aplicada durante un movimiento balístico puede ser limitada en la medida en que se pueda desarrollar potencia en un determinado grupo muscular.

Distancia de aplicación: acciones balísticas de corta duración desarrollan gran cantidad de potencia, mientras que acciones de larga duración producen gran cantidad de energía.

CANTIDAD DE MOVIMIENTO LINEAL (MOMENTUM LINEAL)

Inercia: la cantidad total de movimiento de un cuerpo en una determinada situación depende de la masa del cuerpo y de su velocidad.

Acción-reacción : en la interacción de dos cuerpos, la variación total del momentum de los cuerpos es igual pero de sentido contrario. En el cuerpo de mayor masa se producirá un menor cambio de velocidad mientras que en el de menor masa se producirá una mayor cambio de velocidad.

Elaborado GRamónS.

Conservación del momentum lineal : un cuerpo en movimiento tiene la tendencia de mantener este estado a menos que sobre él accione una fuerza externa que modifique este estado.

CANTIDAD DE MOVIMIENTO ANGULAR o MOMENTUM ANGULAR

Relación Lineal-angular : la mayoría de los movimiento deportivos deben ser descritos en términos de movimiento lineal del centro de gravedad del cuerpo, combinados con el movimiento de rotación de los distintos segmentos corporales alrededor del centro de gravedad.

Acción-reacción : cada vez que un cuerpo cambia el momentum angular de otro cuerpo, el primero recibe un cambio igual pero de sentido contrario.

Conservación del momentum angular : un cuerpo en movimiento rotatorio tiende a mantener la misma cantidad de movimiento angular a menos que sobre él actúen torques externos.

PRINCIPIOS GLOBALIZADORES :

Principio del recorrido óptimo de la aceleración: el recorrido de la aceleración de una masa ha de ser lo mas recto posible o siempre curvilíneo en vez de ondulado.

Principio de la fuerza inicia: si una masa por acelerar ha de alcanzar una elevada velocidad final dentro de una dirección preestablecida, es mejor que el movimiento en esa dirección se inicie con una determinada fuerza. Esta fuerza se denomina fuerza inicial y su valor es decisivo para la velocidad final.

Principio de la coordinación de los impulsos parciales: con una buena coordinación de los impulsos parciales del sistema motor se obtiene una velocidad final elevada aplicando una prolongación del recorrido de la aceleración y aprovechando mas a fondo las capacidades musculares.

5. Enumeración de los factores críticos de cada parte o los movimientos que deberían ser hechos para satisfacer los principios biomecánicos, los propósitos biomecánicos y los propósitos generales.

Los factores críticos son los eventos que pueden ser fácilmente observables por el entrenador y que son en los que hace mas énfasis en el momento de la ejecución. Por ejemplo, “mas corto el último paso”, “saque mas rápido la mano”, etc.

El siguiente es un ejemplo de análisis de las fases de un salto mortal y medio en una trampolín de 2 metros. El movimiento se divide en cinco fases para la cuales se realiza el análisis.

I. *Fase de Acercamiento :*

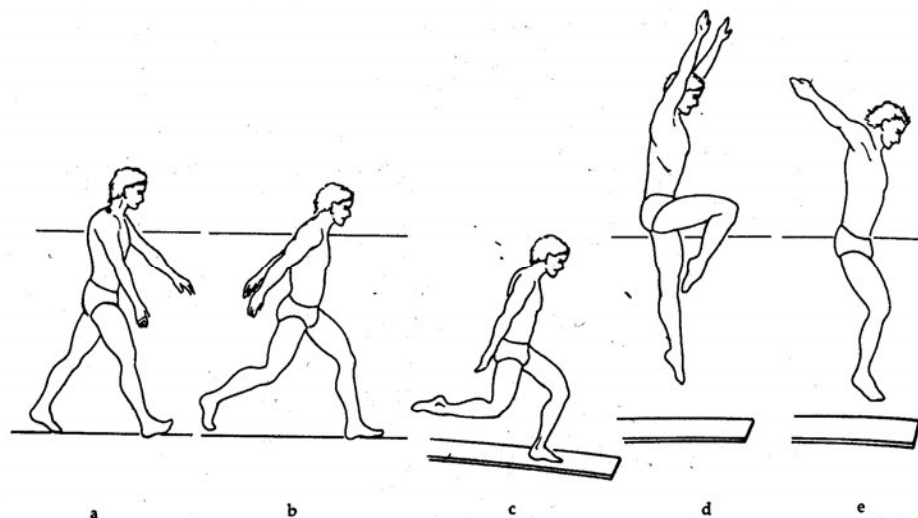
◆ *Propósito mecánico:* Producir una mayor fuerza de reacción de la tierra.

Factores Biomecánicos	Principios biomecánicos	Factores críticos
1. Acercamiento acelerado con desaceleración súbita. 2. Activación del ciclo alargamiento-acortamiento de los músculos de las extremidades inferiores.	1. Una mayor fuerza vertical puede ser lograda por un súbito alargamiento-acortamiento de los músculos implicados. 2. Entre mayor sea la fuerza aplicada, mayor la respuesta de reacción de la tierra.	1. Bloqueo rápido y corto de la acción de las plantas de los pies. 2. Poca amplitud en la flexión de cadera, rodilla y tobillo. 3. Rápida extensión de la cadera, rodilla y tobillo. 4. Aceleración hacia arriba de los brazos y de la rodilla libre.

II. *Fase de Paso de transición*

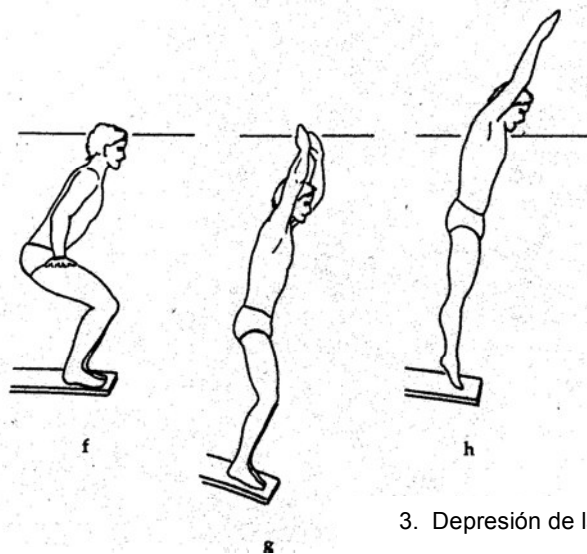
◆ *Propósito mecánico:* Lograr una mayor energía cinética en el momento del pique para lograr una mayor depresión del trampolín.

Factores Biomecánicos	Principios biomecánicos	Factores críticos
1. Máxima altura vertical del centro de gravedad al momento del despegue. 2. Angulo óptimo del despegue. 3. Máxima velocidad vertical del despegue a un ángulo óptimo	1. Entre mayor sea la altura del centro de gravedad, mayor la velocidad del despegue y óptimo el ángulo de salida, mayor será la altura pico del centro de gravedad en el aire. 2. Entre mayor sea el pico de altura del centro de gravedad, mayor será la distancia para acelerar hacia abajo. 3. Entre mayor la distancia para acelerar hacia abajo, mayor será la velocidad de contacto. 4. Entre mayor sea la velocidad de contacto, mayor será la energía cinética. 5. Entre mayor energía cinética, mayor la depresión del trampolín. 6. Entre mayor la depresión del trampolín, mayor la energía elástica almacenada por el mismo.	1. Cuerpo rígido en la posición de despegue. 2. Brazos y pierna elevada en el momento del despegue. 3. Pequeño desplazamiento horizontal del cuerpo durante el despegue. 4. Aceleración hacia arriba de los brazos y de la rodilla libre. 5. Piernas extendidas en el momento del despegue.

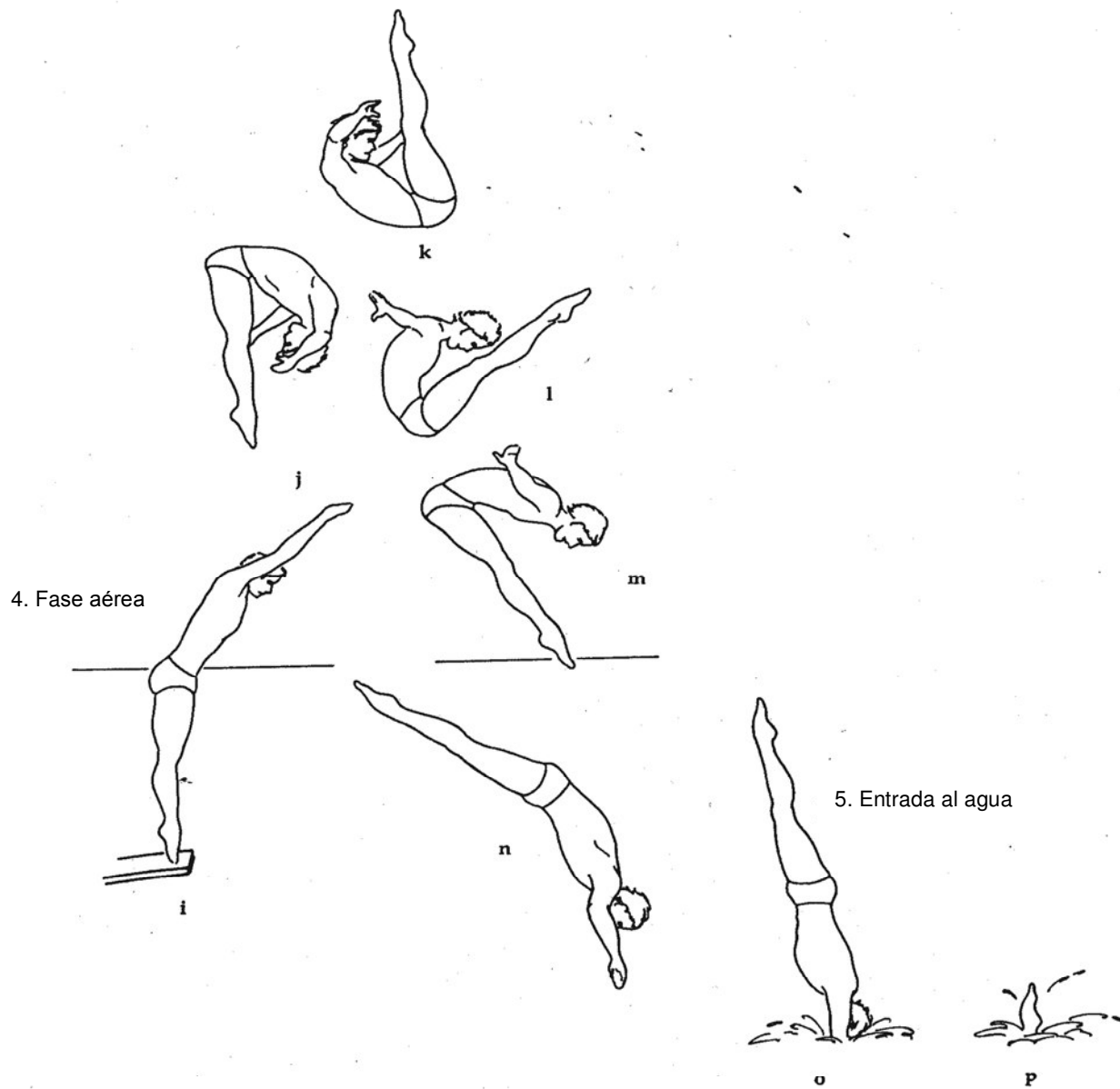


1. Acercamiento

2. Paso de transición



3. Depresión de la tabla



III. Fase de Depresión del trampolín para el despegue

- ◆ *Propósito mecánico:* Proyectar el cuerpo verticalmente tan alto como sea posible y en un ángulo óptimo

Factores Biomecánicos	Principios biomecánicos	Factores críticos
1. Máxima depresión del trampolín.	1. A mayor energía cinética del paso de transición, mayor la depresión del trampolín.	1. Aceleración de los brazos hacia arriba y extensión de cadera, rodilla y tobillo cerca del tope de la depresión del trampolín para lograr su máxima depresión.
2. Máxima fuerza de recuperación del trampolín.	2. Entre mayor la depresión del trampolín, mayor la fuerza de recuperación del mismo.	2. Cuerpo rígido extendido durante la fase inicial de recuperación del trampolín.
3. Máxima altura del centro de gravedad en el momento del despegue.	3. Entre mayor la fuerza de recuperación del trampolín, mayor velocidad vertical del despegue.	3. Brazos arriba en el momento del despegue.
4. Máxima velocidad vertical del centro de gravedad.	4. Entre mayor velocidad vertical del despegue, mayor la altura del centro de gravedad en la fase aérea.	4. Gran amplitud del centro de gravedad y óptima distancia horizontal para las maniobras requeridas.
5. Angulo óptimo de proyección del centro de gravedad.		

IV. Fase Aérea

- ◆ *Propósito mecánico:* Rotar el cuerpo lo más rápidamente posible y de forma que los miembros inferiores permanezcan rectos.

Factores Biomecánicos	Principios biomecánicos	Factores críticos
1. Flexibilidad (activa y pasiva).	1. A mayor flexibilidad, más fácilmente se cambia configuración del cuerpo.	1. Despegue del trampolín con el cuerpo extendido tan rígido como sea posible y con los brazos completamente flexionados por encima de la cabeza.
2. Percepción cinestésica.	2. A mayor conciencia cinestésica, más fácilmente el atleta percibirá la adquisición de la técnica ideal.	2. La inclinación del cuerpo para un mortal y medio debe ser de 12° aprox.
3. Coordinación y control del movimiento de los segmentos corporales.	3. El control y coordinación de los segmentos corporales determinará la cualidad estética de la ejecución.	3. Los movimientos corporales deben ser simétricos.
4. Movimiento estilizado.	4. El cuerpo girará más lento en un mortal extendido, más rápido en un mortal en V y mucho más rápido en una posición agrupada.	4. Los segmentos corporales deben estar alineados cerca de la vertical en el momento de la entrada al agua.

V. Fase Entrada al agua

Elaborado GRamónS.

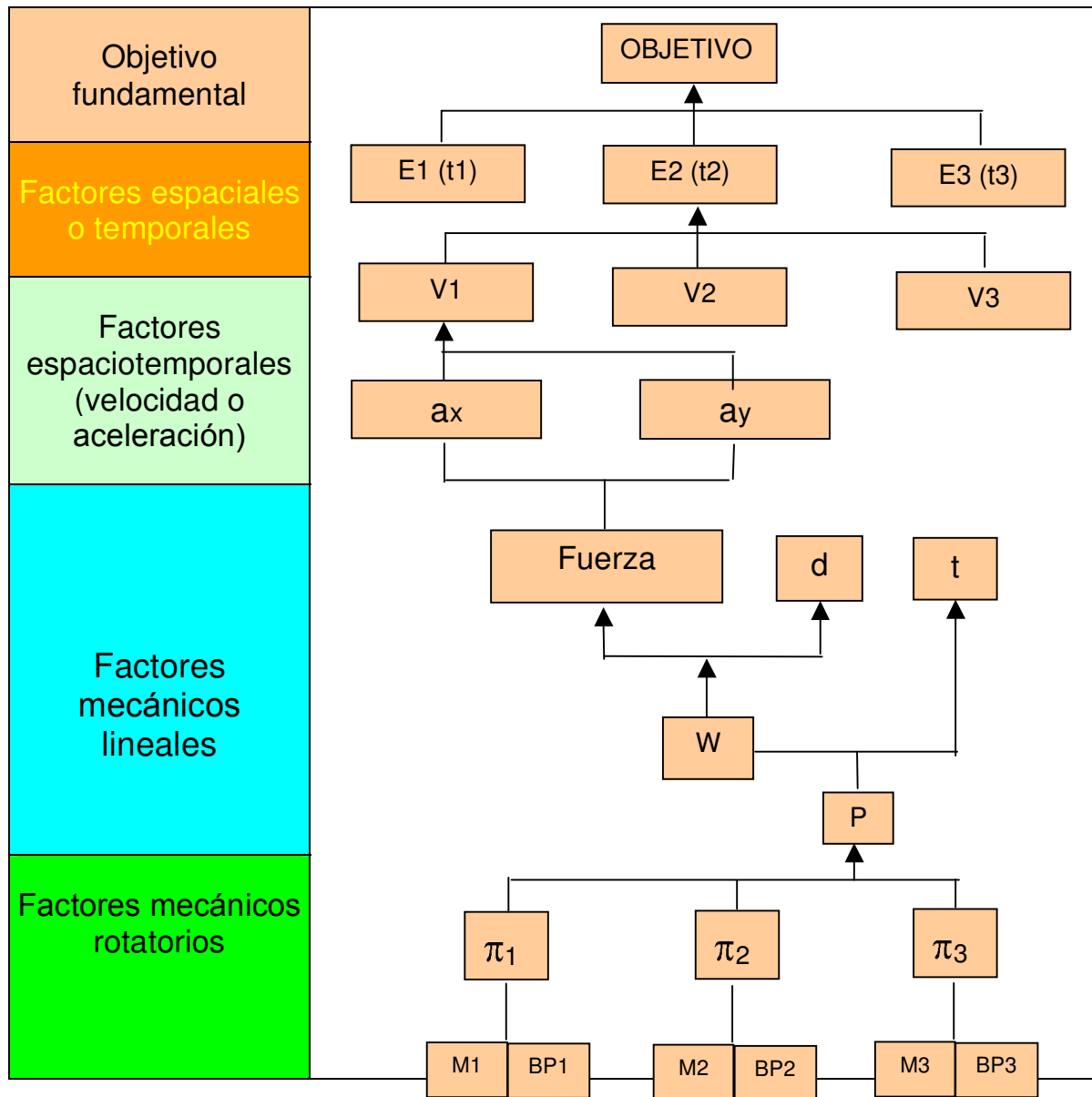
◆ *Propósito mecánico:* seguridad y desaceleración del cuerpo al entrar al agua.

Factores Biomecánicos	Principios biomecánicos	Factores críticos
1. Desaceleración segura 2. Apariencia estética. 3. Configuración corporal. 4. Percepción cinestésica.	1. Entre mas verticalmente estén alineados los segmentos corporales al entrar al agua, mas gradualmente se desacelera. 2. Entre mas alineado esté verticalmente el cuerpo al entrar al agua, menos salpicado de agua. 3. Entre mas rígidas estén las articulaciones, menos oportunidad de desacelerarse al entrar al agua. 4. Entre mayor percepción cinestésica, mayor posibilidad por parte del atleta para corregir su posición en al aire y al entrar al agua.	1. Orientación vertical de los segmentos corporales al entrar al agua. 2. Cuerpo recto rígido con los brazos flexionados sobre la cabeza. 3. Posición corporal alineada. 4. Poco salpicado.

6. Estructuración del modelo biomecánico.

El modelo biomecánico fue concebido por Hay (1988) y consiste en la elaboración de una secuencia de eventos en forma de niveles de tal manera que los mas inferiores son explicativos de los superiores. En este sentido, el modelo en una jerarquización de los factores que intervienen en el gesto. En la tabla 1 se presenta un modelo genérico.

TABLA 1. Esquema de un modelo mecánico según Hay.



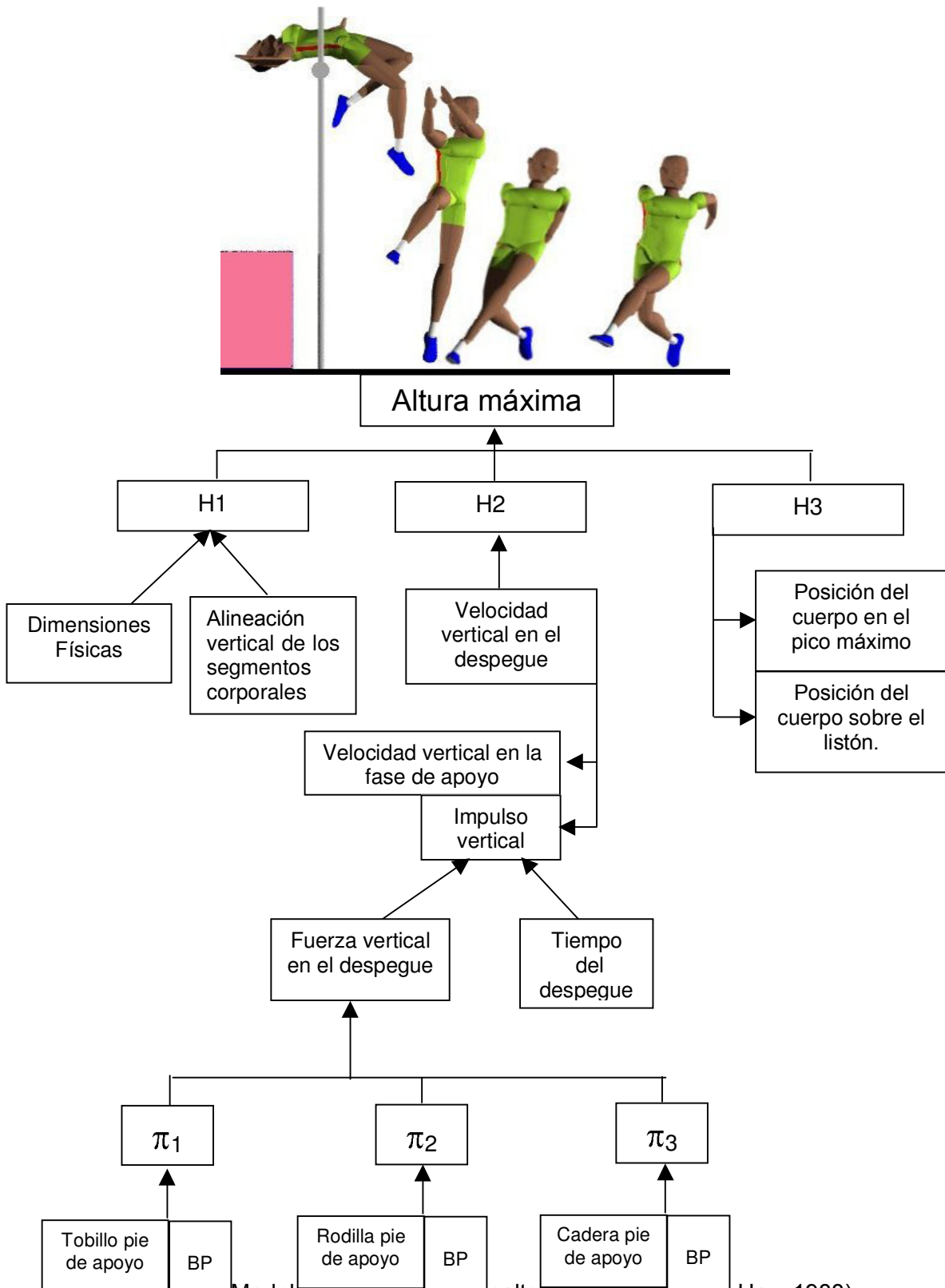


Figura 2. Modelo biomecánico del salto alto (Adaptado de Hay, 1988)

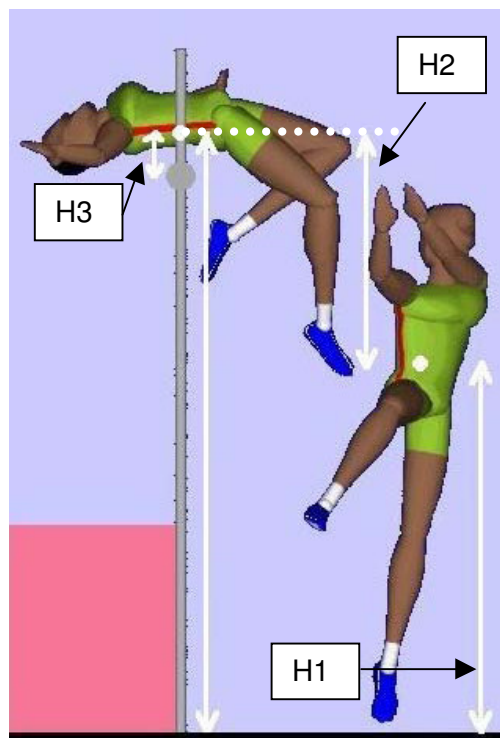


Figura 3. Salto alto

En la figura 2 se presenta un modelo ya elaborado que corresponde al salto alto. En el nivel superior se encuentra el objetivo principal del salto cual es la de lograr la mayor altura. A su vez, esta altura puede ser subdividida (a manera de fases) en tres alturas: H1, H2, y H3. H1 es la altura del centro de gravedad del saltador en el momento del despegue; la H2 es la altura que logra el centro de gravedad como consecuencia del impulso de la carrera previa y H3 es la diferencia de altura del listón y la del centro de gravedad en el momento del paso del listón (Figura 3).

La H1 a su vez depende de dos factores: los factores antropométricos o físicos del saltador y de la manera como este coloca dichos segmentos en el momento del salto. En esta caso, entre mas alto sea el sujeto, mas posibilidades de obtener una H1 mayor, pero junto a esta característica hace falta que los segmentos estén ubicados lo mas verticalmente posible para que la altura del centro de gravedad sea mayor.

La H2 es la proyección vertical del centro de gravedad luego del despegue. Debido a que luego del despegue el cuerpo se comporta como un objeto en caída libre, la

altura máxima (h_{max}) que logre dependerá de la velocidad vertical del centro de gravedad y del impulso vertical.

La velocidad vertical a su vez dependerá de la fuerza vertical del despegue y del tiempo de despegue. La fuerza vertical va a depende en gran parte de los torques generados en la articulación del tobillo, rodilla y cadera del saltador. El tiempo del despegue dependerá en gran medida de la fuerza elástico explosiva del saltador, es decir, de su tipo de fibra y obviamente del entrenamiento previo.

La H3 dependerá de la manera como el saltador coloque el cuerpo en su paso sobre la varilla. Esta es una variable que dependerá fundamentalmente de la habilidad para mover el cuerpo en el espacio y de colocarlo de tal forma que la altura del centro de gravedad esté lo mas cerca de la altura de la varilla. En este sentido se habla de una H3+ cuando el centro de gravedad pasa por encima del listón y H3- cuando el centro pase por debajo del listón, que es lo que realmente pretende el salto tipo Fosbury.

En la tabla 1 se presentan algunos datos pertenecientes a los saltadores que participaron en la olimpiada de Barcelona. Se puede apreciar que entre ellos se encuentra el cubano Sotomayor, campeón mundial y olímpico, el cual saltó 2.34 m, con una H1 (que para este caso no es la altura del centro de gravedad en el momento del despegue sino de la batida) de 94 cm; un H2 de 2.43 (esta tomada en valores absolutos desde el piso) y una H3 (Hcla) de - 4 cm indicando que pasó el centro de gravedad por debajo de la varilla.

Tabla 1. Datos de algunos saltadores de altura que participaron en la olimpiada de Barcelona 1992.

Barcelona 1992, Olympics. "VERTICAL SPATIAL ANALYSIS"											
H_{TD} : height of the CG in the touch-down.											
H_{TO} : height of the CG in the take-off.											
H_{BAR} : height of the bar.											
H_{peak} : maximum height of the CG.											
H_{CLS} : clearance height in the plane of the standards (altura superable en el plano del listón).											
H_{CLA} : absolute clearance height (altura superable absoluta en el pico máximo del CG).											
ΔH_{CLS} : effectiveness of the bar clearance in the plane of the standards.											
ΔH_{CLA} : absolute effectiveness of the bar clearance.											
Athlete	Height	H _{BAR}	Outcome	H _{TD}		H _{TO}	H _{peak}	H _{CLS}	H _{CLA}	ΔH _{CLS}	ΔH _{CLA}
	(m)	(m)		(m)	(%)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
Bécquer	1.85	2.28	Clearance	0.90	48.5		2.30	2.28	2.28	-0.02	-0.02
Conway	1.84	2.34	Clearance	0.84	45.5		2.39	2.33	2.35	-0.06	-0.04
Dakov	1.95	2.24	Clearance	0.97	49.5		2.25	2.26	2.26	+0.01	+0.01
Drake	1.93	2.28	Clearance	0.90	46.5		2.30	2.26	2.26	-0.04	-0.04
Forsyth	1.97	2.34	Clearance	1.00	51.0		2.43	2.35	2.39	-0.08	-0.04
Kemp	1.84	2.31	Clearance	0.90	48.5		2.34	2.25	2.34	-0.09	0.00
Matei	1.84	2.24	Clearance	0.87	47.5		2.29	2.27	2.29	-0.02	0.00
Partyka	1.91	2.34	Clearance	0.97	50.5		2.36	2.36	2.36	0.00	0.00
Sjöberg	2.00	2.34	Clearance	1.02	51.0		2.29	2.35	2.35	+0.06	+0.06
Smith	1.85	2.31	Miss	0.95	51.5		2.29	2.32	2.33	+0.03	+0.04
Sonn	1.97	2.31	Clearance	0.99	50.5		2.36	2.29	2.34	-0.07	-0.02
Sotomayor	1.94	2.34	Clearance	0.94	48.5		2.43	2.36	2.39	-0.07	-0.04
Topic	1.97	2.28	Clearance	0.97	49.0		2.31	2.26	2.30	-0.05	-0.01

7. Jerarquización de los aciertos y los errores.

Una vez estructurado el movimiento con todos los factores y principios que se deben respetar, el análisis de los aciertos y los errores es una tarea fácil, pues se trata de establecer una lista de cotejo o de verificación. En el caso de que los cumpla, pues será un acierto y en el caso de que no, pues será un error. Dado que lo fundamental son las causas que generan los movimientos, los aciertos o los errores mas graves están en la base del modelo biomecánico, es decir, en las fuerzas que originan el movimiento. Las causas menores pueden estar en la geometría del movimiento, es decir, en los ángulos, o en las trayectorias.

8. Corrección de los errores.

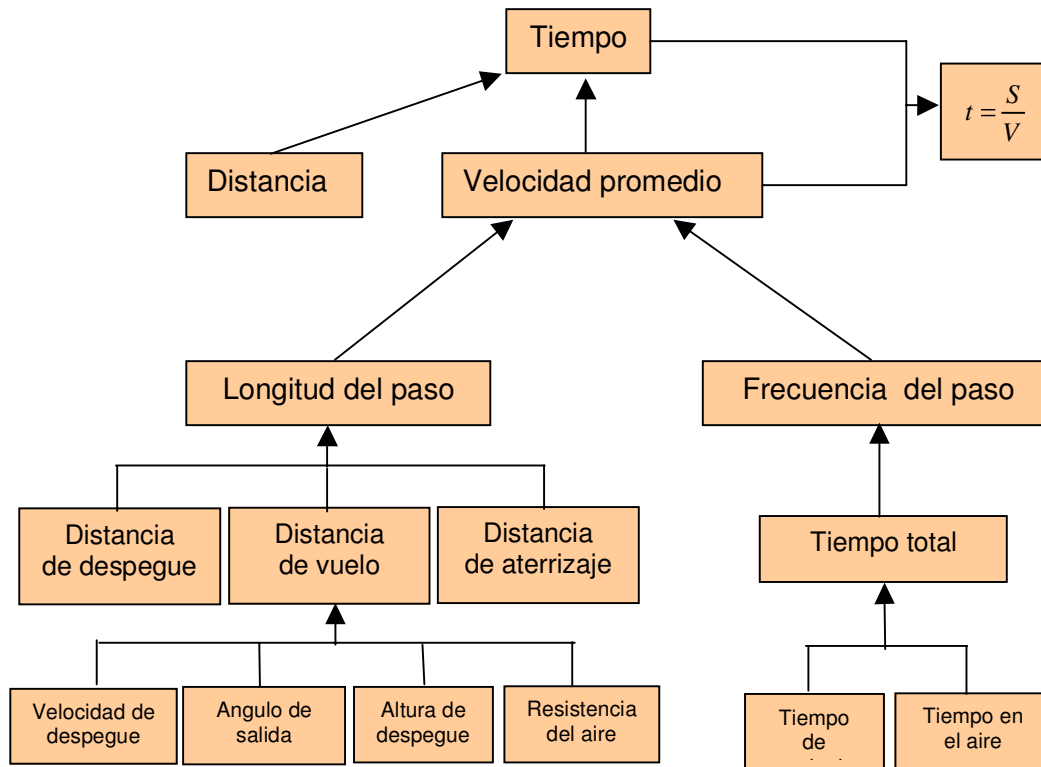
Como se dijo en el anterior apartado, una vez determinado(s) cuál(es) es(son) el error mas fundamental, se debe llevar un proceso de re-entramamiento o de nuevo aprendizaje en el caso de que los errores sean de carácter geométrico. En el caso de errores que se puedan achacar a falta de fuerza, entonces se debe potenciar ésta capacidad diseñando un plan de entrenamiento pertinente. En este caso, el Biomecánico debe tener los suficientes conocimientos en esta área para sugerirle al entrenador qué hacer al respecto.

En el caso de no cometer errores, se podría pensar en optimizar y/o mejorar la estructura del movimiento. En este caso se debe incrementar las cargas y continuar la supervisión de la estructura del movimiento para que respete los principios biomecánicos.

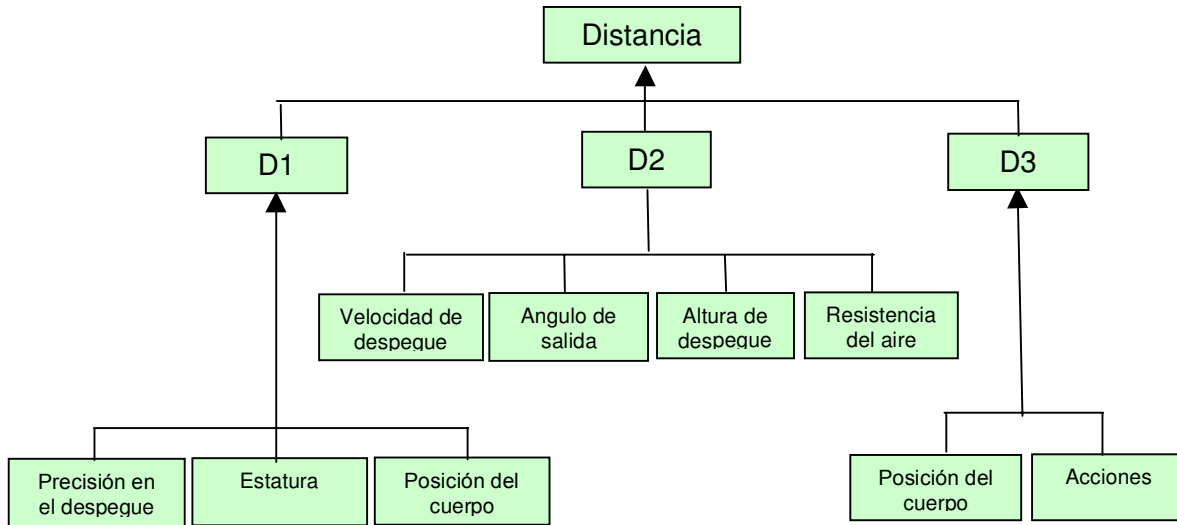
BIBLIOGRAFÍA.

- KREIGBAHUM, E, y BARTHEL, K.M. 1988. Biomechanics: a qualitative approach for studying human movement. Minnesota: Burgess Publishing Company.
- HAY, J.G. 1994. The biomechanics of sports techniques. Prentice Hill Inc, Englewood Clifs, N.J.

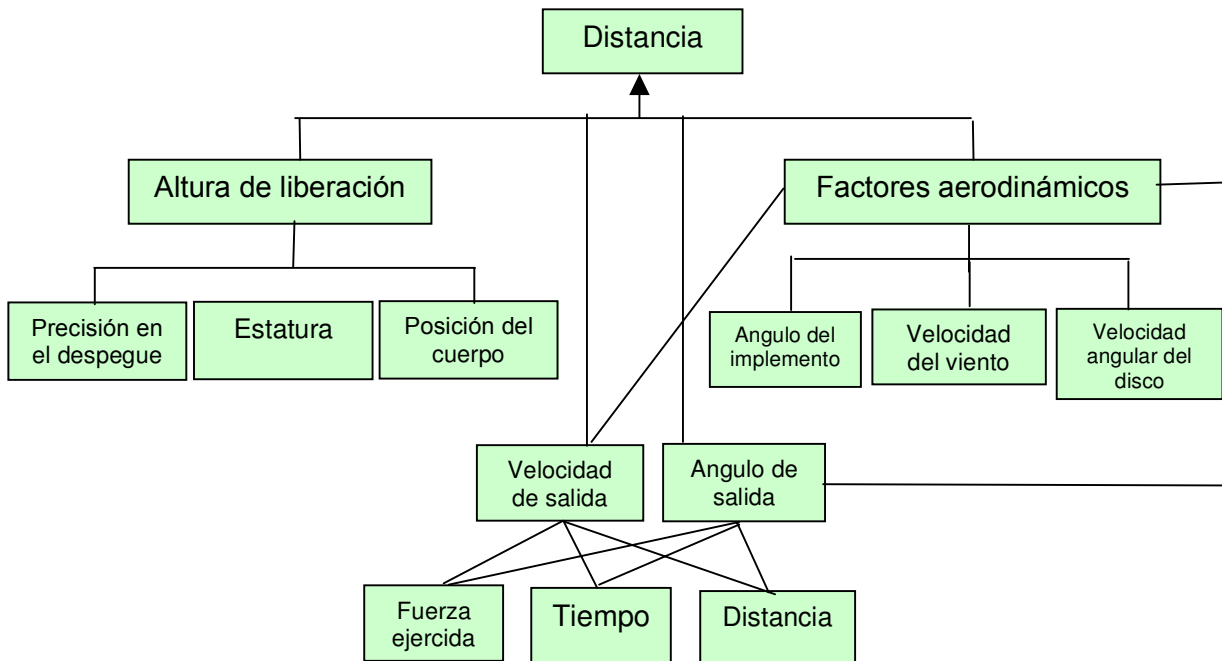
Factores biomecánicos de la carrera en general:

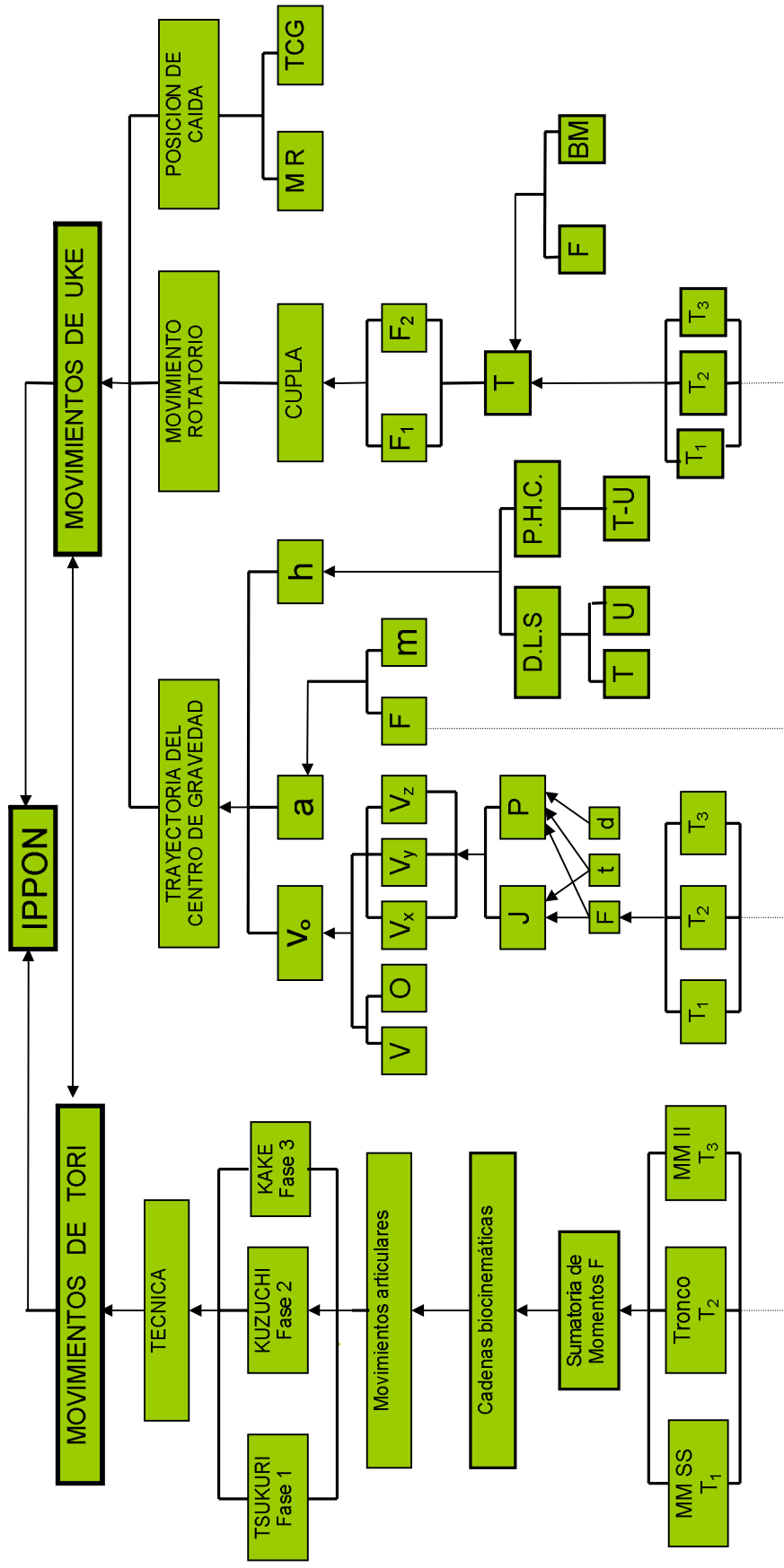


Factores básicos en el salto largo



Factores básicos en el lanzamiento de disco





Modelo biomecánico para las técnicas de lanzamiento (Ramón y Zissu, 1997)