

Trabajo Fin de Grado  
Grado en Fisioterapia

# Comparación de métodos para la estimación de la velocidad del pico de crecimiento y asociación con el riesgo de lesión en futbolistas jóvenes

Autor:  
Sarai Bermejo García  
Director/a:  
Jon Torres Unda

Leioa, 6 de Mayo de 2019

## ÍNDICE

1. RESUMEN.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
2.1. CRECIMIENTO Y MADURACIÓN.....	2
2.2. CRECIMIENTO Y MADURACIÓN EN UNA ACADEMIA DE FÚTBOL DE ÉLITE.....	3
2.2.1. DIFERENTES PERFILES DE JUGADORES Y SU INFLUENCIA EN DIVERSOS ÁMBITOS.....	3
2.2.1.1. RIESGO DE LESIÓN.....	4
2.3. BIO-BANDING.....	6
2.4. MÉTODOS PARA ESTIMAR LA VELOCIDAD DEL PICO DE CRECIMIENTO.....	6
2.4.1. MODELO PREECE-BAINES 1.....	7
2.4.2. CM/AÑO.....	7
2.4.3. MÉTODO MIRWALD.....	7
2.4.4. FÓRMULAS MOORE-1 Y MOORE-2.....	8
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	9
4. RESULTADOS.....	13
5. DISCUSIÓN.....	17
6. CONCLUSIÓN.....	21
7. REFERENCIAS.....	21

## 1. RESUMEN

*Introducción:* Las diferencias individuales en cuanto a la maduración suponen una limitación en equipos de jugadores jóvenes de la misma edad cronológica. Las lesiones traumáticas y por sobreuso se asocian a estas diferencias. Se utilizan ecuaciones para estimar la edad a la velocidad del pico de crecimiento (EPHV) de los jugadores y así clasificarlos en base a su edad biológica.

*Objetivo:* El objetivo de este estudio es investigar la validez de los métodos más accesibles para estimar la EPHV, y relacionar las lesiones de crecimiento y musculoesqueléticas más frecuentes con las diferentes etapas del PHV en una muestra de jugadores jóvenes de fútbol.

*Métodos:* Tres ecuaciones para la predicción de la EPHV han sido evaluadas en comparación con el método de referencia Preece-Baines 1, a través del seguimiento longitudinal de la edad cronológica, altura, altura sentado y longitud de las piernas. Se aplicaron a 19 jugadores jóvenes de élite, hombres, de un club de fútbol. También se registraron las lesiones de crecimiento y traumáticas más frecuentes de dichos jugadores y se clasificaron Pre-PHV, Circa-PHV y Post-PHV.

*Resultados:* Las ecuaciones comparadas pueden ser útiles para los niños en edad de maduración promedio cerca del momento del PHV. Las edades predichas para el PHV obtenidas en comparación con el método de referencia eran tardías en los jóvenes de maduración temprana y tempranas en los jóvenes de maduración tardía. Las lesiones de crecimiento Sever y Osgood-Schlatter predominan en la etapa Pre-PHV, y las lesiones traumáticas más frecuentes en la etapa Post-PHV.

*Conclusión:* Las ecuaciones comparadas pueden ser útiles para normomaduradores. Sin embargo, tienen limitaciones en maduradores tardíos y precoces. Las lesiones de crecimiento más frecuentes, como Sever y Osgood-Schlatter se dan más en la etapa Pre-PHV, en cambio, las lesiones traumáticas más frecuentes, en la etapa Post-PHV.

## **2. INTRODUCCIÓN**

### **2.1. CRECIMIENTO Y MADURACIÓN**

El crecimiento se refiere al aumento en el tamaño del cuerpo o sus partes, reflejado en la estatura, la masa corporal o la composición (Williams, Wood & De Ste Croix, 2013). Como parte del crecimiento, la maduración se define como el proceso hacia el estado adulto o maduro (Parent et al., 2003). Con el fin de conocer el estado madurativo de un individuo, es necesario conocer la edad a la velocidad del pico de crecimiento (EPHV, peak height velocity). La EPHV refleja la edad a la tasa máxima de crecimiento durante la aceleración del crecimiento en la adolescencia (Van der Sluis et al., 2013). La aceleración del crecimiento se determina por el inicio de la maduración sexual y los cambios consecuentes en la función endocrina que promueven el crecimiento rápido. La estimación de la EPHV requiere datos longitudinales que abarcan la infancia tardía y la adolescencia (Malina, Bouchard & Bar-Or, 2004).

Sin embargo, dos sujetos con la misma edad cronológica sufren los cambios de la maduración a edades diferentes, lo que sugiere que la maduración está determinada por la edad somática en cada individuo, sin tener en cuenta la edad cronológica (edad según la fecha en que nació una persona). La edad somática o biológica se refiere al grado de crecimiento en la estatura general, o de dimensiones específicas del cuerpo (Lloyd, Oliver, Faigenbaum, Myer & Croix, 2014). La edad promedio de PHV es, aproximadamente 13.8 años en niños y 11.9 años en niñas (Cumming, Lloyd, Oliver, Eisenmann & Malina, 2017). Una vez determinado el PHV, se distinguen tres etapas en la maduración del individuo: pre-PHV, circa-PHV y post-PHV. El año del PHV se establece tomando 6 meses antes y 6 meses después de la edad prevista para el PHV (Circa-PHV) (Van der Sluis, Elferink-Gemser, Brink & Visscher, 2015).

## **2.2. CRECIMIENTO Y MADURACIÓN EN UNA ACADEMIA DE FÚTBOL DE ÉLITE**

### **2.2.1. Diferentes perfiles de jugadores y su influencia en diversos ámbitos**

Debido a las diferencias en la maduración biológica, existe una variación considerable en el tamaño y la potencia de los jugadores de fútbol adolescentes (Van der Sluis et al., 2015). Las diferencias en altura y peso relacionadas con la madurez pueden comenzar a surgir a partir de los 6 años de edad, que continúan aumentando con la adolescencia (Malina et al., 2004). La literatura afirma que los varones que maduran antes que sus compañeros son, en promedio, más altos y pesados desde la infancia tardía, y tienden a experimentar un mayor PHV (Cumming et al., 2017, Van der Sluis et al., 2015). Esto brinda al atleta masculino de maduración temprana ventajas potenciales, es decir, mayor tamaño, fuerza, velocidad y potencia, especialmente entre las edades de 11 y 14 años, cuando las diferencias de madurez asociadas al tamaño y función son más destacadas (Cumming et al., 2017). Sin embargo, el estado de madurez biológica no es el único factor que influye en las diferencias en los perfiles de jugadores. El efecto de edad relativa (EER) es un fenómeno que marca diferencias tanto físicas como potenciales dependiendo de la fecha en la que nazca el jugador. Es decir, los jugadores nacidos en el primer cuartil del año (Q1) de las categorías U12 y U14, son en promedio más altos, pesados y rápidos que los nacidos en el último cuartil (Q4) de las mismas categorías (Lovell et al., 2015).

Por consiguiente, las diferencias en el estado madurativo de los jugadores de la misma edad cronológica, implican una serie de limitaciones en diferentes aspectos. En el contexto deportivo, la maduración se considera un factor limitante para la identificación del talento, ya que el principal método utilizado en este proceso se centra en la edad cronológica, la cual no incluye el estado de madurez de cada jugador (Gonçalves, Rama & Figueiredo, 2012). Se ha demostrado que los jóvenes de maduración temprana suelen tener ventaja en cuanto al tamaño y a las capacidades físicas (Matthys, Vaeyens, Coelho-e-Silva, Lenoir & Philippaerts, 2012), y es por eso que los entrenadores dan preferencia a los jugadores que maduran antes que sus

compañeros (Van der Sluis et al., 2015). Los jugadores con maduración tardía y nacidos en el cuarto trimestre del grupo de edad competitiva, debido al EER (Cobley, Baker, Wattie & McKenna, 2009), tienen 20 veces más probabilidades de ser deseleccionados (Cumming et al., 2017). Para optimizar los efectos de entrenamiento y garantizar la seguridad y el bienestar del atleta, los profesionales deben considerar las diferencias individuales en el estado de madurez (Lloyd et al., 2014). Por ello, Lloyd et al. (2014) recomienda enfatizar cada capacidad física según el estado madurativo de un jugador. El conocimiento de la maduración biológica podría ser útil para los profesionales para ayudar a explicar las fluctuaciones en la competencia motora (Lloyd et al., 2014), como la “torpeza adolescente”, y la diferencia de las capacidades aeróbicas (Philippaerts et al., 2006), y por ello es importante monitorizar a los jugadores y valorarles en base a su estado madurativo. Por ejemplo, un jugador de maduración temprana de 12 años, que realiza unas pruebas físicas, puede conseguir unos resultados por encima de la media en comparación a compañeros de su misma edad cronológica, pero similares o inferiores a aquellos de su misma edad biológica (Cumming et al., 2017). La competición es uno de los objetivos de los programas de formación en el deporte. No obstante, la falta de competencia en relación con aptitudes físicas de los maduradores precoces, expone al jugador a un fracaso en la competencia futura (Malina, Rogol, Cumming, e Silva & Figueiredo, 2015). Para terminar, es importante ver el crecimiento como un factor influyente en el riesgo de lesión. Esto incluye cambios estructurales, fluctuaciones en el desarrollo motor y las diferencias individuales del estado madurativo y del PHV. Existen ciertas lesiones de crecimiento, como Sever (inflamación de la placa de crecimiento del calcáneo) y Osgood-Schlatter (inflamación del tendón patelar en la tuberosidad tibial), que se relacionan con la maduración y la EPHV (Van der Sluis et al., 2013, Van der Sluis et al., 2015, Le Gall, Carling & Reilly, 2007, Le Gall et al., 2006, Bult, Barendrecht & Tak, 2018).

#### 2.2.1.1. Riesgo de lesión

Los cambios que ocurren a lo largo de la maduración biológica durante la infancia y, en particular, en la adolescencia, suponen un riesgo considerable de ciertas lesiones

(Cumming et al., 2017). Por ejemplo, el crecimiento rápido de los huesos largos no coincide con la longitud de los músculos, lo que puede alterar la estructura, la función neuromuscular y el rendimiento físico (Lloyd et al., 2014). Durante el crecimiento, los músculos se adaptan a los cambios de longitud de la estructura ósea, en cambio, las estructuras aponeuróticas llevan un ritmo más lento. Asimismo, durante el crecimiento, se dan cambios en las propiedades de los tendones, que junto con un aumento de fuerza, puede dar lugar a lesiones de crecimiento. Además, los cambios en los tejidos blandos también pueden conducir a un control deficiente de las fuerzas de impacto en las articulaciones (Finch et al., 2013). Con el estrés adicional de una mayor tensión muscular en reposo después de la aceleración del crecimiento, es posible que las lesiones relacionadas con el crecimiento sean comunes en atletas de esta edad, como la apofisitis por tracción (Mountjoy et al., 2008, Hawkins, Hulse, Wilkinson, Hodson & Gibson, 2001). Las lesiones en deportes como el fútbol siguen un patrón similar, donde alcanzan el máximo alrededor de los 14-16 años, y luego disminuyen significativamente (Schwebel & Brezaussek, 2014).

En cuanto al proceso de desarrollo, cabe mencionar la aparición de la “torpeza adolescente”. La “torpeza adolescente” es un fenómeno de desarrollo que se refiere a una interrupción temporal en la ejecución de habilidades motoras básicas como resultado del inicio temprano de la aceleración del crecimiento en la adolescencia (Philippaerts et al., 2006, Lloyd et al., 2014).

En este sentido, existen lesiones específicas relacionadas con el crecimiento, la lesión de Sever y la lesión de Osgood-Schlatter son las más destacadas, y ocurren, respectivamente, en jugadores de fútbol U-11 y U-13-U14 (Kozieł & Malina, 2018). Ambas lesiones se atribuyen al crecimiento rápido del pie y la pierna, respectivamente, durante la aceleración del crecimiento (Malina et al., 2004). En un estudio cuyo objetivo es investigar los factores asociados con la enfermedad de Osgood-Schlatter en una muestra 37 niños de 10 años de edad (Watanabe et al., 2018), se observó que una de las posibles causas de aparición de la enfermedad sería el proceso de crecimiento del centro de osificación secundaria de la tuberosidad tibial, sabiendo que la segunda etapa de la osificación se da entre los 11 y los 14 años

de edad. En otro estudio (Van der Sluis et al., 2015), la EPHV se relacionó con las lesiones entre 26 jugadores de fútbol de edad promedio de 12 años seguidos longitudinalmente durante 3 años. Se observó que la incidencia de lesiones traumáticas y por sobreuso aumentó desde el año anterior al PHV hasta el año del PHV. También se advirtió que los maduradores tardíos experimentaron una incidencia de lesiones por sobreuso antes del PHV 7 veces mayor que los jugadores de maduración temprana en el mismo período de maduración. Sin embargo, la diferencia de incidencia de lesiones traumáticas entre maduradores tardíos y precoces no fue significativa. Un estudio realizado anteriormente (Van der Sluis et al., 2013) observó que la media de lesiones traumáticas y por sobreuso por jugador fue menor en los jugadores Pre-PHV, pero no hubo diferencia entre los jugadores Circa-PHV y Post-PHV. Aun así, ambos estudios (Van der Sluis et al., 2013, Van der Sluis et al., 2015) se realizaron tomando datos longitudinales durante tan solo 3 años, lo que puede sesgar los resultados. Recientemente, Bult et al. (2018) relacionó una mayor incidencia de lesiones 6 meses después del año del PHV.

### **2.3.BIO-BANDING**

“Bio-banding” implica la agrupación y/o evaluación de atletas en función del tamaño y/o el estado de madurez en lugar de la edad cronológica. La aplicación de este método en futbolistas jóvenes, podría suponer un cambio en las limitaciones entre jugadores de la misma edad cronológica. El personal involucrado en la actividad deportiva en el atleta joven debería ser consciente de los cambios relacionados con la edad durante el desarrollo y conocer la edad biológica y el PHV de sus jugadores, con el fin de garantizar un buen rendimiento deportivo y prevenir lesiones.

### **2.4. MÉTODOS PARA ESTIMAR EL PICO DE VELOCIDAD DE CRECIMIENTO**

Las medidas comunes de crecimiento somático incluyen evaluaciones de curvas de crecimiento longitudinales y predicción de la EPHV (Malina et al., 2004). Una vez recogidos los datos longitudinales, observamos que el crecimiento somático no es



lineal en su desarrollo (Lloyd et al., 2014). Asimismo, a partir de estas curvas de crecimiento, se puede identificar la EPHV (Lloyd et al., 2014). Para ello, existen varios métodos, como el modelo Preece-Baines 1 (Preece & Baines, 1978), la velocidad de crecimiento en cm/año o las ecuaciones de Mirwald (Mirwald, Baxter-Jones, Bailey & Beunen, 2002), Moore-1 (Moore et al., 2015) y Moore-2 (Moore et al., 2015).

#### **2.4.1. Modelo Preece-Baines 1**

El método Preece-Baines es un modelo no lineal de cinco parámetros de altura estimada para cada individuo (Preece & Baines, 1978). Se ajustan modelos separados para cada individuo en el conjunto de datos (Simpkin, Sayers, Gilthorpe, Heron & Tilling, 2017).

El modelo Preece-Baines 1 (Preece & Baines, 1978) es el método de referencia para la estimación de la EPHV, pero tiene una limitación, y es que sólo se puede aplicar una vez el jugador ha pasado su PHV. Por lo tanto, este método no es válido para predecir el PHV cuando el jugador todavía no ha pasado su aceleración de crecimiento.

#### **2.4.2. Cm/año**

Con la recogida longitudinal de la altura cada 6 meses durante un período de tiempo se puede calcular la magnitud y la tasa de cambio de la altura a lo largo del tiempo (centímetro por año) (Lloyd et al., 2014). Las velocidades de crecimiento durante el pico de velocidad de crecimiento en la adolescencia oscilan entre 5 y 11 cm en los hombres y entre 5 y 9 cm en las mujeres (Lloyd et al., 2014).

#### **2.4.3. Método Mirwald**

En situaciones en las que el seguimiento longitudinal de la altura y la masa corporal no sea posible, se puede calcular el PHV con la ecuación propuesta por Mirwald et

al. (2002). Las ecuaciones requieren la medición de la edad cronológica, la masa corporal, la estatura de pie y la estatura sentado (Lloyd et al., 2014).

Aunque la fórmula Mirwald ha sido muy utilizada para predecir la EPHV, se ha demostrado que tiene limitaciones (Malina & Kozieł, 2014). En un estudio (Kozieł & Malina, 2018), se compararon las ecuaciones Moore-1, Moore-2 y Mirwald contra el modelo Preece-Baines 1. Las EPHV obtenidas por la ecuación de Mirwald, en comparación con el modelo Preece-Baines 1, fueron más tarde en los jóvenes de maduración temprana y más temprana en los jóvenes de maduración tardía. La variación intraindividual en las EPHV predichas entre las tres ecuaciones fue considerable. Los resultados obtenidos en este estudio fueron los mismos que en otros cuatro estudios de Malina de validación del método Mirwald para predecir la EPHV (Malina et al., 2006, Malina & Kozieł, 2014, Malina, Choh, Czerwinski & Chumlea, 2016).

#### **2.4.4. Fórmulas Moore-1 y Moore-2**

El método Moore se creó para evaluar la madurez biológica de los niños. Las ecuaciones proporcionaron buenos ajustes en muestras externas y ofrecen una alternativa a los modelos utilizados comúnmente (Moore et al., 2015).

En el estudio de Kozieł & Malina (2018), las EPHV obtenidas por las ecuaciones de Moore, en comparación con el modelo Preece-Baines 1, fueron más tarde en los jóvenes de maduración temprana y más temprana en los jóvenes de maduración tardía. La variación intraindividual en las EPHV predichas entre las cuatro ecuaciones (Preece-Baines, Moore-1, Moore-2 y Mirwald) fue considerable. No obstante, las EPHV pronosticadas con las ecuaciones de Moore (Moore et al., 2015), tuvieron menos variación en comparación con las EPHV obtenidas a través de las ecuaciones de Mirwald (Mirwald et al., 2002). También se observa que las ecuaciones de Moore fueron útiles para los niños en edad de maduración promedio cerca del momento del PHV. Asimismo, tanto las ecuaciones de Moore y Mirwald no fueron útiles para niños y niñas de maduración temprana y tardía.

Por consiguiente, el objetivo de este estudio fue investigar la validez de los métodos mencionados más accesibles para estimar el PHV, Mirwald (Mirwald et al., 2002), Moore-1 (Moore et al., 2015) y Moore-2 (Moore et al., 2015), en comparación con el método de referencia Preece-Baines 1 (Preece & Baines, 1978), y relacionar las lesiones de crecimiento y musculo-articulares más frecuentes con las diferentes etapas del PHV en futbolistas jóvenes.

### **3. MATERIAL Y MÉTODOS**

#### **3.1. PARTICIPANTES**

19 jugadores nacidos en los años 1998 y 1999 pertenecientes a la academia de fútbol de élite del Athletic Club fueron seguidos prospectivamente desde la temporada 2009-2010 hasta su salida del club, incluyendo al menos 1 año antes y después del PHV.

#### **3.2. ANTROPOMETRÍA**

Las medidas tomadas fueron edad cronológica, peso, altura, altura sentado y longitud de las piernas. La altura de pie se midió cada 3 meses aproximadamente, y la altura en sedestación se midió al principio y final de cada temporada. Para la medición de la altura, los participantes tenían una postura erecta con el peso distribuido uniformemente entre ambos pies, los talones juntos, los brazos colgando relajados a los lados y la cabeza en el plano horizontal de Frankfurt. La altura en sedestación se midió como la distancia desde una superficie de asiento plana (40 cm de alto) hasta la parte superior de la cabeza, con las rodillas juntas y dirigidas hacia delante. Los participantes se sentaban en una postura erguida con la cabeza en el plano horizontal de Frankfurt. La longitud de las piernas se obtuvo calculando la altura menos la altura sentado (Malina et al., 2014).

### 3.3.MODELO PREECE-BAINES 1

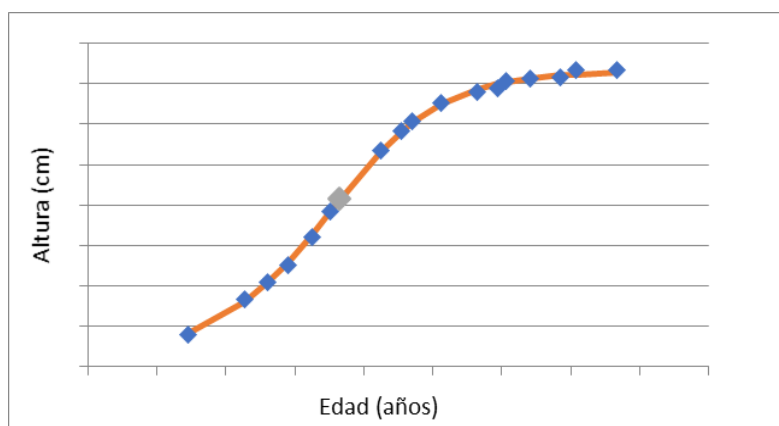
Según Preece & Baines (1978) el protocolo de mediciones de Preece-Baines consiste en la selección de sujetos que habían dejado de crecer en el sentido de que habían crecido menos de 1 cm durante el último año de medición, y tenían al menos dos años de mediciones disponibles antes del inicio de la pubertad. Por otra parte, se recomienda que la frecuencia de medición de alturas sea de 6 meses.

La EPHV a través de la ecuación de Preece-Baines 1 (Preece & Baines, 1978) se calcula utilizando la **Ecuación 1 (Figura 1)**.

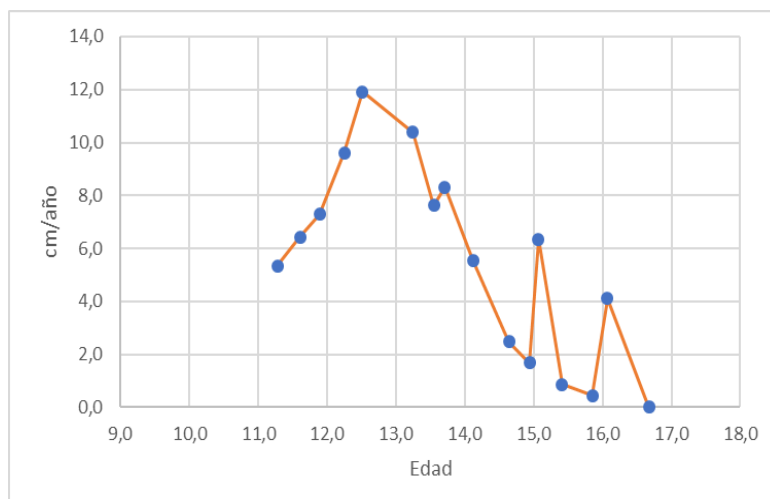
A la hora de estimar la EPHV mediante la modelo Preece-Baines 1, cuando fue necesario, se confirmó la EPHV mediante la inspección de la curva de velocidad de crecimiento en cm/año (**Figura 2**).

**Ecuación 1** Preece-Baines Modelo-1

$$h = h_1 - \frac{2(h_1 - h_0)}{\exp[s_0(t - 0)] + \exp[s_1(t - 0)]}$$



**Figura 1** Curva de crecimiento obtenida a partir de la ecuación Preece-Baines Modelo-1. El punto gris indica la EPHV según la fórmula Preece-Baines Modelo-1. Los puntos azules indican las medidas tomadas de forma longitudinal.



**Figura 2** Curva de velocidad de crecimiento en cm/año.

### 3.4.MIRWALD

A través de la ecuación de Mirwald et al. (2002) (**Ecuación 2**) se calcula la diferencia en años desde la edad cronológica a la edad predicha para el PHV (MO, Maturity Offset). En los jugadores con múltiples estimaciones de la EPHV se utilizó el promedio para el posterior análisis.

**Ecuación 2** Mirwald

$$\begin{aligned}
 MO = & -9,236 + [0,0002708 \times (\text{longitud de la pierna} \times \text{altura sentado})] \\
 & + [-0,001663 \times (\text{edad cronológica} \times \text{longitud de la pierna})] \\
 & + [0,007216 \times (\text{edad cronológica} \times \text{altura sentado})] \\
 & + [0,02292 \times (\text{ratio de masa por altura} \times 100)]
 \end{aligned}$$

### 3.5. MOORE

#### 3.5.1. Moore-1

A través de la ecuación de Moore-1 (Moore et al., 2015) (**Ecuación 3**) se calcula la diferencia en años desde la edad cronológica a la edad predicha para el PHV (MO,

Maturity Offset). En los jugadores con múltiples estimaciones de la EPHV se utilizó el promedio para el posterior análisis.

**Ecuación 3 Moore-1**

$$MO = -8,128741 + [0,0070346 \times (edad \times altura \text{ sentado})]$$

### 3.5.2. Moore-2

A través de la ecuación de Moore-2 (Moore et al., 2015) (**Ecuación 4**) se calcula la diferencia en años desde la edad cronológica a la edad predicha para el PHV (MO, Maturity Offset). En los jugadores con múltiples estimaciones de la EPHV se utilizó el promedio para el posterior análisis.

**Ecuación 4 Moore-2**

$$MO = -7,999994 + [0,0036124 \times (edad \times altura)]$$

## 3.6. LESIONES

Los servicios médicos del Athletic Club registraron las lesiones de forma prospectiva en una base de datos siguiendo el consenso de la Federación Internacional de Fútbol Asociación (Fuller et al 2006). Las lesiones se registraron en la base de datos “online” del club cuando un jugador no pudo participar en una futura sesión de entrenamiento o un partido debido a una limitación física resultante del entrenamiento de fútbol o partido, y se consideró lesionado hasta que el personal médico autorizó al jugador a participar por completo. Las lesiones seleccionadas para el análisis fueron lesiones de crecimiento más frecuentes en el fútbol, tales como Sever, Osgood-Schlatter, lesiones de espina ilíaca anteroinferior (EIAI), lesiones de espina ilíaca anterosuperior (EIAS) y lesiones de isquion. También se seleccionaron otras lesiones como espondilolisis, lesiones musculares de isquiotibial, lesiones

musculares de cuádriceps, lesiones articulares de rodilla, lesiones articulares de tobillo, lesiones de ligamento cruzado anterior (LCA) y pubalgias.

Una vez registradas las lesiones, se estableció la edad cronológica en la que se encontraba cada jugador en el momento de la lesión, calculando la diferencia entre la fecha de nacimiento y la fecha de baja por la lesión. Posteriormente, se calculó la diferencia en años desde la lesión hasta la EPHV obtenida a través del modelo Preece-Baines 1 (Preece & Baines, 1978) o viceversa, para clasificar así las lesiones en tres grupos: pre-PHV, circa-PHV y post-PHV.

### **3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Se utilizó una hoja de Excel diseñada para analizar la validez de un método y su concordancia con el método de referencia (Hopkins, 2015). En concreto, se calculó el error típico o estándar de la estimación (Mirwald, Moore-1, Moore-2) en comparación al método de referencia (modelo Preece-Baines 1). El error típico fue convertido a unidades estandarizadas para su interpretación utilizando la escala de Cohen modificada: <0.1, trivial; 0.1-0.3, pequeño; 0.3-0.6, moderado; 0.6-1.0, grande; 1.0-2.0, muy grande; >2.0, extremadamente grande.

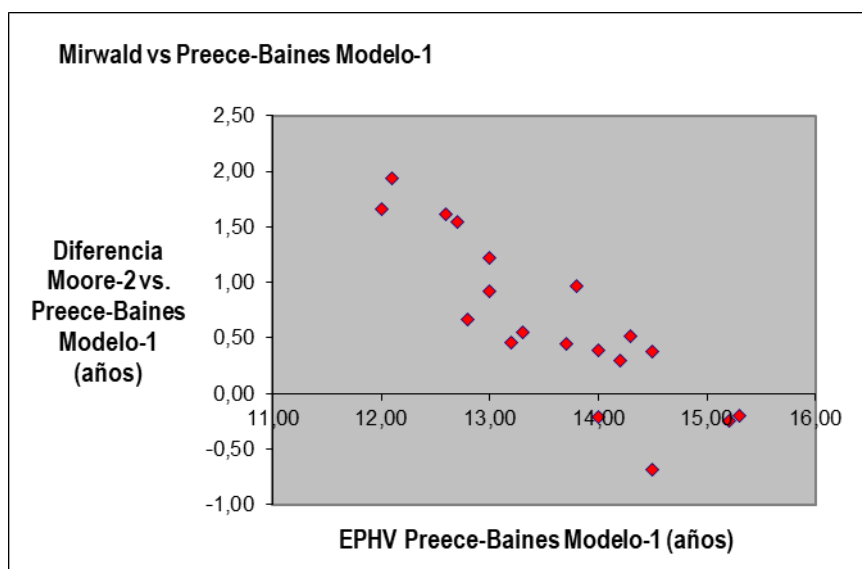
En cuanto a las lesiones, se calcularon los porcentajes del total en cada grupo (pre, circa, post) para cada lesión específica.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1. PREECE-BAINES VS. MIRWALD**

La EPHV estimada mediante la ecuación de Mirwald tuvo una concordancia muy baja con la estimación mediante el modelo Preece-Baines 1, con un error típico de  $\pm 0.72$  años (95% CI 0.57-1.01 años; diferencia estandarizada = 1.08, muy grande).

En la **Figura 3** se observa que las EPHV obtenidas mediante la ecuación Mirwald son mucho más tardías en maduradores precoces (según la EPHV obtenido por la del método criterio), y ligeramente más tempranas en maduradores tardíos.



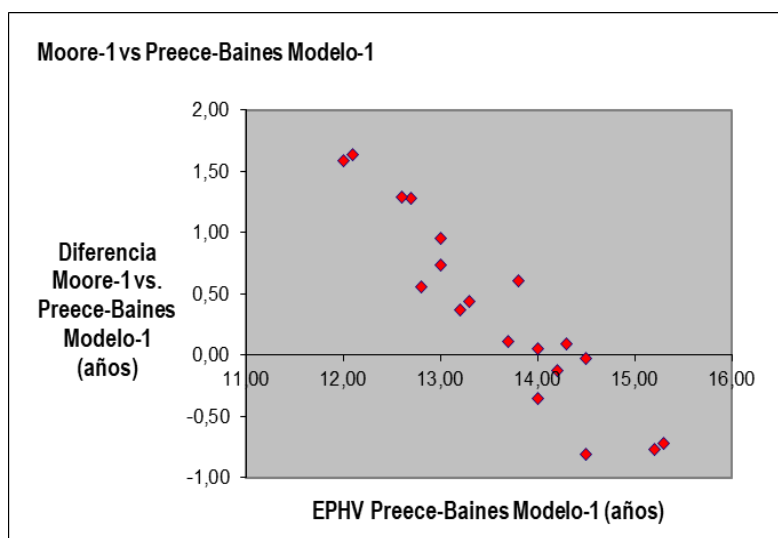
**Figura 3** Comparación del método Mirwald contra el modelo de referencia Preece-Baines 1 en cuanto a la estimación de la EPHV.

#### 4.2. PREECE-BAINES VS. MOORE 1

La EPHV predicha mediante la ecuación de Moore-1 tuvo una concordancia muy baja con la estimación mediante el modelo Preece-Baines 1, con un error típico de  $\pm 0.72$  años (95% CI 0.56-1.0 años; diferencia estandarizada = 1.06, muy grande).

En la **Figura 4** se observa que las EPHV obtenidas mediante la ecuación Moore-1 son más tardías en maduradores precoces (según la EPHV obtenido por la el método criterio), y ligeramente más tempranas en maduradores tardíos. Sin embargo, en los normomaduradores se observa poca variación en comparación con las EPHV obtenidas a través de la ecuación Moore-1.



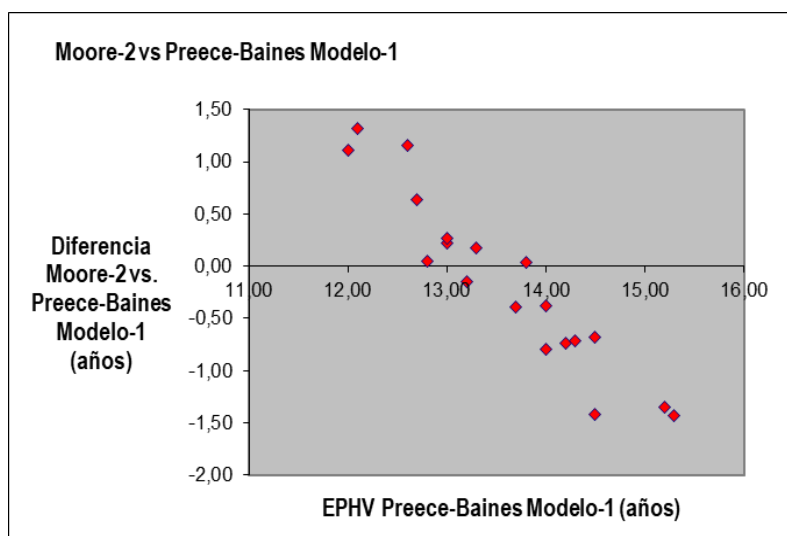


**Figura 4** Comparación del método Moore-1 contra el modelo de referencia Preece-Baines 1 en cuanto a la estimación de la EPHV.

### 4.3. PREECE-BAINES VS. MOORE 2

La EPHV estimada mediante la ecuación de Moore-2 tuvo una concordancia muy baja con la estimación mediante el modelo Preece-Baines Modelo-1, con un error típico de  $\pm 0.84$  años (95% CI 0.66-1.18 años; diferencia estandarizada = 1.64, muy grande).

En la **Figura 5** se observa que las EPHV obtenidas mediante la ecuación Moore-2 son más tardías en maduradores precoces (según la EPHV obtenido por la el método criterio), y mucho más tempranas en maduradores tardíos. Sin embargo, en los normomaduradores se observa poca variación en comparación con las EPHV obtenidas a través de la ecuación Moore-2.



**Figura 5** Comparación del método Moore-2 contra Preece-Baines Modelo-1 en cuanto a la estimación de la EPHV.

#### 4.4.LESIONES

Se registraron 211 lesiones de los 19 participantes, de las cuales 32 fueron lesiones de crecimiento y 88 musculo-articulares. No se registraron lesiones de EIAS ni de LCA. Se resumen el número de cada tipo de lesión de crecimiento y musculo-articulares y su porcentaje en relación con las etapas de maduración en la **Tabla 1** y **Tabla 2**, respectivamente.

En cuanto a las lesiones de crecimiento (**Tabla 1**), se observa una clara sobrerrepresentación de las lesiones Sever y Osgood-Schlatter en la etapa Pre-PHV.

Por otra parte, se distingue una mayor diferencia de lesiones musculo-articulares en cuanto al estado maduracional. Todas las lesiones se dan en mayor parte en la etapa Post-PHV (**Tabla 2**).

**Tabla 1** Número de las lesiones de crecimiento y su porcentaje en relación con las etapas de maduración.

		Pre-PHV	Circa-PHV	Post-PHV	Total
Lesiones de crecimiento	Nº	17	7	8	32
	%	53	22	25	
Enfermedad de Sever	Nº	7	2	1	10
	%	70	20	10	
Enfermedad de Osgood-Schlatter	Nº	4	1	0	5
	%	80	20	0	
Arrancamiento de EIAI	Nº	3	2	6	11
	%	27	18	55	
Arrancamiento de Isquion	Nº	1	0	1	2
	%	50	0	50	

**Tabla 2** Número de las lesiones músculo-articulares y su porcentaje en relación con las etapas de maduración.

		Pre-PHV	Circa-PHV	Post-PHV	Total
Espondilolisis	Nº	0	0	3	3
	%	0	0	100	
Lesión muscular de isquiotibial	Nº	2	1	14	17
	%	12	6	82	
Lesión muscular de cuádriceps	Nº	0	0	20	20
	%	0	0	100	
Lesión articular de rodilla	Nº	3	2	13	18
	%	17	11	72	
Lesión articular de tobillo	Nº	1	2	22	25
	%	4	8	88	
Pubalgia	Nº	0	0	5	5
	%	0	0	100	

## 5. DISCUSIÓN

Los métodos comparados, Moore (Moore et al., 2015) y Mirwald (Mirwald et al., 2002), mostraron una concordancia muy baja con respecto al método de referencia Preece-Baines 1 (Preece & Baines, 1978), mostrando una diferencia estandarizada

entre los rangos 1.0-2.0, lo que supone una diferencia muy grande. Las ecuaciones de Moore (Moore et al., 2015) resultan ser válidas para normomaduradores. No obstante, no lo son para los maduradores tardíos y precoces, al igual que la ecuación de Mirwald. Se observa que las lesiones de crecimiento predominan generalmente Pre-PHV, sobre todo las lesiones de Sever y Osgood-Schlatter. Sin embargo, en cuanto a las lesiones musculó-articulares se distingue claramente su predisposición Post-PHV.

Al igual que en la literatura (Kozieł & Malina, 2018, Malina et al., 2006, Malina & Kozieł, 2014, Malina et al., 2016), se observó que las EPHV obtenidas por las ecuaciones de Mirwald y Moore, en comparación con Preece-Baines Modelo-1, fueron más tarde en los jóvenes de maduración temprana y más temprana en los jóvenes de maduración tardía, por lo que no son útiles para niños de maduración tardía o temprana. La variación intraindividual en las EPHV predichas entre las ecuaciones Mirwald, Moore-1, Moore-2 y Preece-Baines Modelo-1 es considerable en la literatura (Kozieł & Malina, 2018), al igual que en los resultados obtenidos en este análisis. No obstante, las EPHV pronosticadas con las ecuaciones de Moore, tienen menos variación en comparación con las EPHV obtenidas a través de las ecuaciones de Mirwald. En este estudio, en los normomaduradores se observa poca variación en comparación con las EPHV obtenidas a través de las ecuaciones Moore-1 y Moore-2. Por tanto, coincide con la literatura que las ecuaciones de Moore pueden ser útiles para niños de edad de maduración promedio cerca del momento del PHV. No obstante, lo realmente interesante es identificar a aquellos jugadores con un PHV precoz o tardío, y con ese fin, los resultados del presente estudio confirman que estas ecuaciones carecen de la validez suficiente para ser utilizadas en el contexto de un club de fútbol. Una alternativa a los métodos probados, sería utilizar la velocidad de crecimiento del jugador (cm/año). Cuando un jugador crece en un año entre 8 y 11 cm al año significa que está en el año de la tasa máxima de crecimiento (Cumming et al., 2017).

En cuanto a las lesiones, en la literatura se relaciona una mayor incidencia de lesiones traumáticas y por sobreuso con el año anterior al PHV y sobre todo con el del PHV (Van der Sluis et al., 2015). También se dice que existe menor incidencia de

lesiones pre-PHV (Van der Sluis et al., 2013). Esto coincide con Bult et al. (2018), que describió una mayor incidencia de lesiones 6 meses después del año del PHV. La prevalencia de lesiones apofisarias, como la enfermedad de Osgood Schlatter y la enfermedad de Sever entre los jugadores de fútbol juvenil, alcanza su punto máximo durante y justo antes de la aceleración del crecimiento de los adolescentes, respectivamente (Price, Hawkins, Hulse & Hodson, 2004). En este estudio se observó una mayor incidencia de lesiones traumáticas post-PHV, y mayor incidencia pre-PHV en lesiones por sobreuso, sobre todo en las enfermedades de Sever y Osgood-Schlatter. Aun así, apenas existen estudios que relacionen la incidencia de lesiones con las etapas del PHV, con lo cual se considera una fortaleza de este estudio.

Como norma general, el año siguiente al PHV es un año de adaptación del cambio corporal y potencial, que observa aumentos en la longitud muscular y área de sección transversal, rigidez muscular y tendinosa y densidad mineral ósea. Esta secuencia de cambio tiene implicaciones importantes para la coordinación del movimiento que tiende a deteriorarse alrededor del momento de la aceleración del crecimiento, o poco después (Corso, 2019). Esto puede explicar los hallazgos de este estudio en cuanto a lesiones musculo-articulares. Las diferencias individuales en el crecimiento y la maduración también pueden contribuir al mayor riesgo de lesiones, especialmente para los atletas que son constitucionalmente pequeños y/o retrasados en la maduración (Cumming et al., 2017, Van der Sluis et al., 2015). Esto tiene una implicación significativa en deportes de contacto, donde los equipos se forman según la edad cronológica. Por ejemplo, en un estudio sobre jugadores de hockey hielo de entre 13 y 15 años, se encontraron diferencias de peso corporal y estatura entre los jugadores más grandes y pequeños. Éstas fueron de 53 kg y 53 cm respectivamente, y una diferencia de fuerza de un 357% (Brust, Leonard, Pheley & Roberts, 1992).

A demás de la maduración, existen otros factores limitantes en un jugador de fútbol adolescente, como la especialización temprana en el deporte (ETD). La ETD se define como el entrenamiento intensivo durante un año en un mismo deporte excluyendo otros (Myer et al., 2015, Myer et al., 2016). Así mismo, la estimación del PHV está muy relacionada con la definición de la especialización temprana, por lo

que es interesante conocer este dato para evitar las consecuencias negativas de la ETD (Myer et al., 2015, Myer et al., 2016). El riesgo de lesión relacionado con la ETD, influye en el crecimiento del niño y/o niña limitando el desarrollo de las destrezas motoras y el desarrollo social y psicológico (Myer et al., 2015, Myer et al., 2016). Hay evidencia que sugiere que existe una mayor prevalencia de ciertas lesiones asociadas con ETD, como el dolor patelofemoral, la enfermedad de Osgood-Schlatter y la tendinopatía patelar (Post et al., 2017, Pasulka, Jayanthi, McCann, Dugas & LaBella, 2017, Fabricant et al., 2016). El baloncesto y el fútbol se encuentran entre las cinco actividades principales que resultan en lesiones en personas menores de 18.9 años.

Junto con los cambios estructurales y las diferencias individuales de maduración biológica, se debe de tener en cuenta el factor de la carga durante la aceleración de crecimiento, ya que cualquier aumento tanto de intensidad como de tiempo de entrenamiento durante el periodo de crecimiento puede incrementar la susceptibilidad a la lesión (DiFiori, 2002). El PHV, es una indicación del mayor período de crecimiento, donde las tasas de crecimiento se pueden duplicar. Esto resulta en una sobrecarga relativa del músculo y la fascia, que se retrasa tanto en la longitud como en el crecimiento del área de sección transversal en comparación con el hueso, pero sin una mejora concurrente en la fuerza para controlarlo, lo que conlleva al riesgo de lesión (Corso, 2019). Por todo esto, a la hora de entrenar en una academia de fútbol de élite, se deben de tener varios factores en cuenta: uno, que el entrenamiento de resistencia se reconoce como un componente esencial del programa de desarrollo de un atleta joven para los beneficios de rendimiento, salud y reducción de lesiones. Y dos, no se debería recomendar el entrenamiento basado en hipertrofia a un niño que aún no ha experimentado el crecimiento puberal, debido a las concentraciones limitadas de hormonas anabólicas (Lloyd et al., 2014). Para aquellos jugadores en riesgo, se recomienda que las cargas de volumen de entrenamiento se modifiquen para evitar cargas excesivas durante la fase de rápido crecimiento del esqueleto y para brindar oportunidades suficientes para que los individuos vuelvan a aprender los patrones de control motor. Estos patrones se pueden ver alterados debido a la “torpeza adolescente” que suele ocurrir aproximadamente 6 meses antes del PHV. Esto puede explicar la incidencia de lesiones de crecimiento que ocurren

Pre-PHV y Circa-PHV. En consecuencia, los entrenadores podrían realizar también las evaluaciones del estatus de los jugadores jóvenes, dividiéndolos en Pre-PHV, Circa-PHV y Post-PHV, lo que les ayudaría asegurar el rendimiento y salud entre jugadores de similares características madurativas y prevenir ciertas lesiones dependiendo de la etapa madurativa en la que se encuentre el jugador.

Las mayores limitaciones de este estudio han sido que el número de muestra (19 jugadores) es una muestra muy reducida, y que no se tuvo en cuenta el tiempo de exposición de los jugadores por lo que no se pudo calcular la incidencia de lesiones (número de lesiones/1000 h de fútbol) en cada fase en relación con el PHV.

## 6. CONCLUSIÓN

Las ecuaciones de Moore y Mirwald pueden ser útiles para los niños en edad de maduración promedio cerca del momento del PHV. En cambio, no son útiles para niños de maduración temprana y tardía. Los resultados de este estudio resaltan las limitaciones de las ecuaciones de predicción de la EPHV. Las lesiones por sobreuso relacionadas con el crecimiento, sobre todo las enfermedades de Sever y Osgood-Schlatter se observan sobre todo pre-PHV. En cuanto a las lesiones traumáticas, se observa una clara sobrerrepresentación Post-PHV. Se precisan futuras investigaciones con un tamaño de muestra mayor y teniendo en cuenta el tiempo de exposición. Como conclusión, una correcta estimación del PHV y el conocimiento de la ocurrencia de las lesiones en sus distintas fases puede ser de gran utilidad para promover el desarrollo y la prevención de lesiones en jugadores de fútbol jóvenes.

## REFERENCIAS

1. Brust, J. D., Leonard, B. J., Pheley, A., & Roberts, W. O. (1992). Children's ice hockey injuries. *American journal of diseases of children*, 146(6), 741-747.
2. Bult, H. J., Barendrecht, M., & Tak, I. J. R. (2018). Injury risk and injury burden are related to age group and peak height velocity among talented male youth soccer players. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 6(12), 2325967118811042.

3. Cogley, S., Baker, J., Wattie, N., & McKenna, J. (2009). Annual age-grouping and athlete development. *Sports medicine*, 39(3), 235-256.
4. Corso, M. (2018). Developmental changes in the youth athlete: implications for movement, skills acquisition, performance and injuries. *The Journal of the Canadian Chiropractic Association*, 62(3), 150.
5. Cumming, S. P., Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Eisenmann, J. C., & Malina, R. M. (2017). Bio-banding in sport: applications to competition, talent identification, and strength and conditioning of youth athletes. *Strength & Conditioning Journal*, 39(2), 34-47.
6. DiFiori, J. P. (2002). Overuse injuries in young athletes: an overview. *Athletic Therapy Today*, 7(6), 25-29.
7. Fabricant, P. D., Lakomkin, N., Sugimoto, D., Tepolt, F. A., Stracciolini, A., & Kocher, M. S. (2016). Youth sports specialization and musculoskeletal injury: a systematic review of the literature. *The Physician and sportsmedicine*, 44(3), 257-262.
8. Finch, C. F., Gabbe, B., White, P., Lloyd, D., Twomey, D., Donaldson, A., ... & Cook, J. (2013). Priorities for investment in injury prevention in community Australian football. *Clinical journal of sport medicine*, 23(6), 430-438.
9. Gonçalves, C. E., Rama, L. M., & Figueiredo, A. B. (2012). Talent identification and specialization in sport: an overview of some unanswered questions. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7(4), 390-393.
10. Hopkins WG (2015). Spreadsheets for analysis of validity and reliability. *Sportscience* 19, 36-42 ([sportsjournal.org/2015/ValidRely.htm](http://sportsjournal.org/2015/ValidRely.htm))
11. Hawkins, R. D., Hulse, M. A., Wilkinson, C., Hodson, A., & Gibson, M. (2001). The association football medical research programme: an audit of injuries in professional football. *British journal of sports medicine*, 35(1), 43-47.
12. Kozieł, S. M., & Malina, R. M. (2018). Modified maturity offset prediction equations: Validation in independent longitudinal samples of boys and girls. *Sports Medicine*, 48(1), 221-236.



13. Le Gall, F., Carling, C., Reilly, T., Vandewalle, H., Church, J., & Rochcongar, P. (2006). Incidence of injuries in elite French youth soccer players: a 10-season study. *The American journal of sports medicine*, 34(6), 928-938.
14. Le Gall, F., Carling, C., & Reilly, T. (2007). Biological maturity and injury in elite youth football. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 17(5), 564-572.
15. Lloyd, R. S., & Oliver, J. L. (2012). The youth physical development model: A new approach to long-term athletic development. *Strength & Conditioning Journal*, 34(3), 61-72.
16. Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Faigenbaum, A. D., Myer, G. D., & Croix, M. B. D. S. (2014). Chronological age vs. biological maturation: implications for exercise programming in youth. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(5), 1454-1464.
17. Lovell, R., Towlson, C., Parkin, G., Portas, M., Vaeyens, R., & Cobley, S. (2015). Soccer player characteristics in English lower-league development programmes: The relationships between relative age, maturation, anthropometry and physical fitness. *PloS one*, 10(9), e0137238.
18. Medeiros, R. M., Arrais, R. F., Azevedo, J. C., Pinto, V. C., Ronque, E. R., & Dantas, P. M. (2018). Prediction of pubertal maturation from anthropometric variables: proposal for a non-invasive method. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 58(5), 638-643.
19. Malina, R. M., Bouchard, C., & Bar-Or, O. (2004). *Growth, maturation, and physical activity*. Human kinetics.
20. Malina, R. M., Claessens, A. L., Van, K. A., Thomis, M., Lefevre, J., Philippaerts, R., & Beunen, G. P. (2006). Maturity offset in gymnasts: application of a prediction equation. *Medicine and science in sports and exercise*, 38(7), 1342-1347.
21. Malina, R. M., & Kozieł, S. M. (2014). Validation of maturity offset in a longitudinal sample of Polish boys. *Journal of Sports Sciences*, 32(5), 424-437.
22. Malina, R. M., & Kozieł, S. M. (2014). Validation of maturity offset in a longitudinal sample of Polish girls. *Journal of sports sciences*, 32(14), 1374-1382.

23. Malina, R. M., Rogol, A. D., Cumming, S. P., e Silva, M. J. C., & Figueiredo, A. J. (2015). Biological maturation of youth athletes: assessment and implications. *Br J Sports Med*, 49(13), 852-859.
24. Malina, R. M., Choh, A. C., Czerwinski, S. A., & Chumlea, W. C. (2016). Validation of maturity offset in the Fels Longitudinal Study. *Pediatric exercise science*, 28(3), 439-455.
25. Matthys, S. P. J., Vaeyens, R., Coelho-e-Silva, M. J., Lenoir, M., & Philippaerts, R. (2012). The contribution of growth and maturation in the functional capacity and skill performance of male adolescent handball players. *International journal of sports medicine*, 33(07), 543-549.
26. Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D., Bailey, D. A., & BEUNEN, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine & science in sports & exercise*, 34(4), 689-694.
27. Moore, S. A., McKay, H. A., Macdonald, H., Nettlefold, L., Baxter-Jones, A. D., Cameron, N., & Brasher, P. M. (2015). Enhancing a somatic maturity prediction model. *Med Sci Sports Exerc*, 47(8), 1755-64.
28. Mountjoy, M., Armstrong, N., Bizzini, L., Blimkie, C., Evans, J., Gerrard, D., ... & Van Mechelen, W. (2008). IOC consensus statement: "training the elite child athlete". *British Journal of Sports Medicine*, 42(3), 163-164.
29. Myer, G. D., Jayanthi, N., DiFiori, J. P., Faigenbaum, A. D., Kiefer, A. W., Logerstedt, D., & Micheli, L. J. (2015). Sport specialization, part I: does early sports specialization increase negative outcomes and reduce the opportunity for success in young athletes?. *Sports Health*, 7(5), 437-442.
30. Myer, G. D., Jayanthi, N., DiFiori, J. P., Faigenbaum, A. D., Kiefer, A. W., Logerstedt, D., & Micheli, L. J. (2016). Sports specialization, part II: alternative solutions to early sport specialization in youth athletes. *Sports health*, 8(1), 65-73.
31. Parent, A. S., Teilmann, G., Juul, A., Skakkebaek, N. E., Toppari, J., & Bourguignon, J. P. (2003). The timing of normal puberty and the age limits of sexual precocity: variations around the world, secular trends, and changes after migration. *Endocrine reviews*, 24(5), 668-693.

32. Pasulka, J., Jayanthi, N., McCann, A., Dugas, L. R., & LaBella, C. (2017). Specialization patterns across various youth sports and relationship to injury risk. *The Physician and sportsmedicine*, 45(3), 344-352.
33. Philippaerts, R. M., Vaeyens, R., Janssens, M., Van Renterghem, B., Matthys, D., Craen, R., ... & Malina, R. M. (2006). The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *Journal of sports sciences*, 24(3), 221-230.
34. Post, E. G., Bell, D. R., Trigsted, S. M., Pfaller, A. Y., Hetzel, S. J., Brooks, M. A., & McGuine, T. A. (2017). Association of competition volume, club sports, and sport specialization with sex and lower extremity injury history in high school athletes. *Sports health*, 9(6), 518-523.
35. Preece, M. A., & Baines, M. J. (1978). A new family of mathematical models describing the human growth curve. *Annals of human biology*, 5(1), 1-24.
36. Price, R. J., Hawkins, R. D., Hulse, M. A., & Hodson, A. (2004). The Football Association medical research programme: an audit of injuries in academy youth football. *British journal of sports medicine*, 38(4), 466-471.
37. Schwebel, D. C., & Brezaussek, C. M. (2014). Child development and pediatric sport and recreational injuries by age. *Journal of athletic training*, 49(6), 780-785.
38. Simpkin, A. J., Sayers, A., Gilthorpe, M. S., Heron, J., & Tilling, K. (2017). Modelling height in adolescence: a comparison of methods for estimating the age at peak height velocity. *Annals of human biology*, 44(8), 715-722.
39. Van der Sluis, A., Elferink-Gemser, M. T., Coelho-e-Silva, M. J., Nijboer, J. A., Brink, M. S., & Visscher, C. (2013). Sport injuries aligned to peak height velocity in talented pubertal soccer players. *International journal of sports medicine*, 35(04), 351-355.
40. Van der Sluis, A., Elferink-Gemser, M. T., Brink, M. S., & Visscher, C. (2015). Importance of peak height velocity timing in terms of injuries in talented soccer players. *International journal of sports medicine*, 36(04), 327-332.
41. Watanabe, H., Fujii, M., Yoshimoto, M., Abe, H., Toda, N., Higashiyama, R., & Takahira, N. (2018). Pathogenic Factors Associated With Osgood-Schlatter

- Disease in Adolescent Male Soccer Players: A Prospective Cohort Study. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 6(8), 2325967118792192.
42. Williams, C. A., Wood, L., & De Ste Croix, M. (2013). Growth and maturation during childhood. *Paediatric Biomechanics and Motor Control Theory and Application*. Abingdon, Oxon: Routledge.