

Article

Entrenamiento de la Resistencia y la Fuerza para Jugadores de Fútbol. Consideraciones Fisiológicas

Jay R Hoffman y Jan Helgerud

Faculty of Medicine, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway

RESUMEN

Los jugadores de fútbol profesional no necesariamente tienen una capacidad extraordinaria en todas las áreas de rendimiento físico. El entrenamiento en el fútbol se basa principalmente en el mismo juego, y un patrón de reclutamiento común entre jugadores, entrenadores y directivos refuerza esta tradición. Los nuevos desarrollos para comprender los procesos de adaptación del sistema circulatorio y del rendimiento de resistencia así como las adaptaciones nerviosas y musculares al entrenamiento y rendimiento han permitido plantear intervenciones de entrenamiento más eficaces. Se ha demostrado que el entrenamiento de resistencia intervalado a una intensidad de 90-95% de la frecuencia cardíaca máxima en series de 3-8 minutos es efectivo para desarrollar resistencia y para obtener mejoras en el rendimiento en los partidos de fútbol. El entrenamiento de la fuerza con cargas altas, pocas repeticiones y movilización máxima de fuerza en el modo concéntrico ha demostrado ser eficaz para el desarrollo de la fuerza y de los parámetros relacionados con la misma. Los nuevos avances en el entrenamiento físico tienen implicaciones importantes para el éxito de jugadores de fútbol. El desafío tanto para entrenadores como para jugadores es aceptar los nuevos desarrollos y cambiar las prácticas de entrenamiento existentes. El fútbol es uno de los deportes más ampliamente jugados en el mundo y los jugadores deben tener habilidades técnicas, tácticas y físicas para tener éxito. En parte, el fútbol profesional se preocupa más por la selección que por el desarrollo. Sin embargo, el enfoque de esta revisión se centra exclusivamente en el desarrollo de la capacidad de los jugadores, principalmente en el desarrollo de sus recursos físicos. Las técnicas, tácticas y recursos físicos individuales, comparten importancia cuando se evalúan las diferencias de rendimiento en fútbol. La importancia promedio de cada uno de estos enfoques analíticos de primer nivel para las diferencias en el rendimiento es aproximadamente un tercio. Dentro de los recursos físicos, la fuerza y la potencia y sus derivados aceleración, capacidad de sprint y capacidad de salto comparten importancia con la resistencia para explicar las diferencias en los recursos físicos dentro del rendimiento en fútbol.

RENDIMIENTO DE RESISTENCIA EN FÚTBOL

Los esfuerzos para mejorar el rendimiento en fútbol a menudo se enfocan en las técnicas y tácticas a expensas de la aptitud física y de la fisiología aplicada. Durante un partido de 90 minutos, los jugadores de élite corren 8-12km [1-3] a una intensidad media cercana al umbral del lactato (LT) [4-6]. El valor máximo de tasa de trabajo, consumo de oxígeno (VO_2) o frecuencia cardíaca (HR) durante un trabajo dinámico donde se utilizan los grandes grupos musculares y donde la producción y eliminación de lactato están equilibradas, se define como LT [7]. Las series de alta intensidad que dependen de fuentes de energía anaeróbicas o alácticas se recuperan utilizando energía anaeróbica. Esto hace que el jugador deba pasar un tiempo sustancial a una intensidad inferior al LT. En un estudio realizado con jugadores de élite de categoría

juniors, [8] el LT fue 82-85% del consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}) y 87-90% de la frecuencia cardíaca máxima (HR_{max}). Otro protocolo de LT derivado de valores sanguíneos de lactato fijos (3 o 4 mmol/L) aportó los valores correspondientes a jugadores varones adultos de élite [4,9]. Por lo tanto la distancia recorrida durante el juego está relacionada tanto con la potencia aeróbica del jugador como con la capacidad del jugador de mantener un elevado aprovechamiento fraccional de la potencia anaeróbica. Los estudios realizados con jugadores de la liga Dinamarquesa [1] confirman las observaciones preliminares de que en la primera mitad del juego se recorre una distancia 5-9% superior a la que se recorre durante la segunda mitad del juego; no obstante, los jugadores con aptitud aeróbica pueden no mostrar esta disminución en el rendimiento [8,10]. Sin embargo, no se ha observado ninguna correlación entre el porcentaje de VO_{2max} de un individuo en el LT y la disminución en el rendimiento durante el transcurso de un juego [11].

Los estudios anteriores demuestran una relación significativa entre el VO_{2max} y la distancia recorrida durante un partido [2, 4], y entre el VO_{2max} y el número de sprints realizados por un jugador [2]. Apor [12] observó una correlación por rangos entre el VO_{2max} promedio y las ubicaciones de los primeros cuatro equipos en el Campeonato Húngaro de Primera División. Los valores medios de VO_{2max} de jugadores de fútbol de élite generalmente se sitúan entre 55-67 mL/kg/min [9, 13-17] con valores individuales mayores a 70 mL/kg/min.

DETERMINANTES FISIOLÓGICOS DE LA RESISTENCIA CARDIORRESPIRATORIA

Durante mucho tiempo se ha considerado a la resistencia cardiorrespiratoria como uno de los componentes fundamentales de la salud [18, 19]. Debido a que la acumulación de ácido láctico se asocia con la fatiga del músculo esquelético, el metabolismo anaeróbico no puede contribuir en un nivel cuantitativamente significativo con la energía gastada [4]. Paté y Kriska [20] describieron un modelo que incorpora los tres factores más importantes que explican la variación inter individual en el rendimiento de resistencia aeróbica, a saber VO_{2max} , LT y economía de trabajo (C). Numerosos estudios publicados apoyan este modelo. [21-25]. Por lo tanto, el modelo debe ser utilizado como un marco útil para el análisis comprensivo de los efectos del entrenamiento aeróbico sobre el rendimiento de resistencia

El VO_{2max} probablemente es el factor más importante que determina el éxito en un deporte de resistencia aeróbica [18, 26]. Sin embargo, en una misma persona, el transporte de oxígeno máximo es específico de un cierto tipo de actividad. Por consiguiente para obtener valores relevantes, es necesario centrarse en realizar evaluaciones sobre las actividades deporte específicas [27].

Shephard [28] presentó un modelo integrado basado en los análogos eléctricos de la vía del oxígeno, que utiliza las caídas en PO_2 para asignar la impedancia relativa de la vía. La principal limitación que se observa al utilizar esta metodología es que la caída de presión desde el gas alveolar a la sangre arterial refleja el cociente de conductancia difusiva/perfusiva en el pulmón y no solo la resistencia de difusión gas alveolar/sangre [29]. Por lo tanto la caída de presión no se determina solamente a través de la capacidad de los pulmones de intercambiar oxígeno sino que también por propiedades circulatorias como el flujo de sangre y concentración de la hemoglobina. La misma salvedad se aplica en el intercambio dentro de los músculos.

Wagner [30,31] diseñó una metodología alternativa. Diseñó un análisis numérico que vincula de manera interactiva los pulmones, la circulación y los músculos para comparar las influencias de cada componente de la conductancia en VO_{2max} . Las conductancias en cuestión son la ventilación alveolar (VE), el gasto cardíaco (Q), la capacidad de difusión pulmonar (DLO_2) y la capacidad de difusión muscular (DMO_2). Otras dos variables de transporte independientes consideradas son la concentración de la hemoglobina ([Hb]) y la fracción de oxígeno inspirado (FIO_2). Para obtener más detalles al respecto consultar Wagner [31].

En el ejercicio máximo, la mayoría de la evidencia apunta a un VO_{2max} limitado por el suministro de oxígeno, y el gasto cardíaco (Q) es tan influyente como [Hb], DLO_2 y DMO_2 juntos [31-36].

La fracción de potencia aeróbica máxima que puede mantenerse durante un período de larga duración determina el LT [20]. El LT fue definido por Davis como la intensidad de trabajo o VO_2 donde la concentración de lactato sanguíneo empieza a aumentar gradualmente durante el ejercicio continuo. Los niveles de lactato sanguíneo ([la-]b) representan un equilibrio entre la producción y degradación del lactato y existen patrones individuales para esta cinética [38]. El lactato no se gasta. Si no existe pérdida de energía, el proceso de transformación de piruvato a lactato es reversible. Por lo tanto el piruvato puede oxidarse o en menor grado puede actuar como sustrato para la síntesis de glucosa y glucógeno. Cuando el piruvato se oxida, libera el 92% restante de energía. El músculo esquelético en reposo, el músculo que realiza ejercicio submáximo,

el músculo cardíaco y la corteza renal pueden utilizar lactato como sustrato [18]. El concepto de LT es atractivo porque puede ser más sensible a las adaptaciones inducidas por el entrenamiento que el VO_2max solo. Se han observado valores tan altos como 90% de VO_2max en algunos los atletas de resistencia altamente entrenados [39]. El LT cambia con el cambio en VO_2max , pero en términos de porcentaje de VO_2max , la capacidad para adaptarse parece ser menor [48]. No se conoce bien cuales son los factores que determinan el LT. Sin embargo, la distribución del tipo de fibra muscular, el potencial para el metabolismo de las grasas y la distribución de la isoenzima lactato deshidrogenasa en el músculo esquelético pueden ser determinantes importantes [20].

La economía de trabajo (C), hace referencia a la relación entre la producción de trabajo y el costo de oxígeno. Conley y Krahenbuhl [23] y Helgerud [40] han demostrado variaciones inter-individuales en el costo de oxígeno bruto de la actividad en una velocidad de carrera normal. No se comprende con detalle cuales son las causas de esta variabilidad, pero parecería que las características anatómicas, la habilidad mecánica, la habilidad neuromuscular y almacenamiento de energía elástica son importantes [20]. La economía de carrera normalmente se define como el VO_2 en mL/kg en estado estable en una velocidad estándar [23,39] o como el costo energético de la carrera por metro (mL/kg/m) [8, 24, 40].

Existe cierta evidencia que hay diferencias en las demandas fisiológicas entre los delanteros, mediocampistas y defensores, porque se presume que hay mayores demandas de resistencia en la posición más activa de medio campo. Varios estudios han concluido que jugadores de medio campo tienen valores de VO_2max más altos cuando se expresa en forma por kilogramo de peso corporal [4, 13, 41]. Dado que los defensores podrían ser consistentemente más pesados que los medio campistas o delanteros, tal como lo demostraron Davis et al. [13] y Bangsbo [4], estarían siendo subestimados al utilizar la expresión tradicional, mL/kg/min [42]. Las comparaciones de VO_2max utilizando la expresión tradicional en mL/kg min son sistemáticamente y funcionalmente imprecisas. El costo de oxígeno de correr a una velocidad normal no aumenta en proporción directa con la masa corporal (m_b). De manera similar, el VO_2max no aumenta en proporción directa a la masa corporal [40, 42, 43]. Las escalas dimensionales de individuos geoméricamente similares sugieren que el área transversal de la aorta aumentara proporcionalmente al cuadrado de la talla (L^2), mientras que la masa corporal (m_b) depende del volumen corporal que varía según L^3 [18]. Por consiguiente, el VO_2max debe ser proporcional a la masa corporal elevada a una potencia igual a $0.67 (m_b^{0.67})$. Este enfoque de escalas dimensionales concuerda con lo observado por Bergh et al. [43] quienes observaron que el VO_2max relativo a la m_b elevado a la potencia 0.75 era muy indicativo de capacidad de rendimiento en carrera. Sería razonable esperar aproximadamente 70 mL/kg min para un varón de 75 kg, o aproximadamente 205 mL/kg $0.75^{0.75}$ /min [42]. En términos de escala esta meta representa 72.6 mL/kg min para un jugador de 65 kg y 67.8 mL/kg/min, para un jugador de 85 kg.

Algunos autores argumentan que la aptitud anaeróbica puede diferenciar mejor que la aptitud aeróbica a los jugadores estándar [10, 44]. Sin embargo, debido a que un partido de fútbol dura 90 minutos, aproximadamente 98 % de la energía total provienen del metabolismo aeróbico y el restante 2 % se genera a partir de los procesos anaeróbicos [18]. También debemos señalar que no existe ninguna medida para determinar la capacidad anaeróbica, [45] y la potencia anaeróbica se determina indirectamente a través de ejercicio máximo de corta duración [5]. En un estudio con 60 segundos de saltos repetidos, Bosco [46] y Reilly [41] observaron que jugadores de fútbol desarrollaron un rendimiento anaeróbico de 23-27 W/kg, un valor intermedio entre sprinters y patinadores por un lado y corredores de fondo y esquiadores de fondo por otro. Estos valores concuerdan con lo observado en un test de subir escaleras (*stair run test*) [47]. Di Prampero et al. [48] observaron valores en jugadores de fútbol 5-15% inferiores a los de corredores de medio fondo y sprinters. Por otro lado, Withers et al. [49] observaron que jugadores de fútbol tenían valores aproximadamente 20 % más altos que los jugadores de básquetbol, caminantes y corredores. De manera similar, los jugadores de fútbol de élite húngaros presentaron un nivel 15-30 % más alto de potencia anaeróbica que un grupo control de la misma edad [12]. Un problema con tales mediciones es su relevancia limitada durante los sprints y movimientos explosivos realizados en el fútbol. La evaluación del rendimiento anaeróbico en términos de tests de campo específicos para fútbol sería la mejor manera de evaluar a jugadores de fútbol [50]. Estudios recientes han observado concentraciones de lactato sanguíneo de 4-6 mmol/L durante el partido [4, 51]. Sin embargo, estos valores no sugieren que exista una acumulación suficiente de lactato para activar seriamente los mecanismos de amortiguación (buffer) [41].

VOLUMEN SISTÓLICO CARDÍACO DURANTE EL EJERCICIO

El entrenamiento en fútbol en jugadores de fútbol de élite que permite alcanzar niveles de VO_2max de entre 55 y 67 mL/kg min generalmente es el resultado de variaciones en el partido fútbol, en la carrera, en las series de ejercicios del tipo "doggies" (series de sprints cortos) u otras variaciones de series de trabajo aeróbico/anaeróbico. Recientemente el análisis de cuales son los elementos del transporte de oxígeno que limitan el rendimiento de resistencia aeróbico, ha revelado que existen diferencias entre los participantes del estudio entrenados y no entrenados. Los individuos entrenados están

principalmente limitados por la capacidad del corazón de bombear sangre, es decir por el rendimiento cardíaco [52, 53]. El volumen sistólico del corazón puede ser dos veces más alto en un atleta entrenado en comparación con una persona sedentaria. Aunque los investigadores coinciden en que ese volumen sistólico aumenta a medida que aumentan las tasas de trabajo hasta alrededor del 50% de $VO_2\text{max}$, los informes sobre lo que ocurre después de ese punto difieren ampliamente. En la mayoría de los libros de texto, se describe un aumento lineal del volumen sistólico y de la frecuencia cardíaca durante el aumento de trabajo sostenido hasta aproximadamente 50 % del $VO_2\text{max}$ en donde el volumen sistólico alcanza una meseta (*plateau*) o aumenta solo modestamente tanto en sujetos entrenados como en sujetos sedentarios (54, 55). Sin embargo, otros estudios han demostrado que el volumen sistólico continúa aumentando más allá de ese valor [56, 57].

Un reciente estudio de Zhou et al. [58] abordó esta discordancia acerca del volumen sistólico. Los autores observaron que el volumen sistólico aumenta continuamente a medida que aumenta la carga de trabajo hasta un $VO_2\text{max}$ en los participantes del estudio altamente entrenados. Sin embargo, en los participantes del estudio sedentarios y ligeramente entrenados, se observó el clásico comportamiento de nivelación. El aumento en volumen hasta el nivel del $VO_2\text{max}$ en los atletas entrenados, ha sido la razón por la cual se han utilizado las intervenciones de entrenamiento aeróbico de alta intensidad en nuestros entrenamientos de resistencia. Un jugador de fútbol puede mantener series repetidas en este nivel de intensidad durante 3-8 minutos. A medida que esta intensidad se supera y se aleja del LT, se observan mayores niveles de lactato, que deben ser disminuidos entre cada período de trabajo. Ésta es la razón por la cual se introducen descansos de aproximadamente 3 minutos entre las series de ejercicio con un nivel de intensidad de 60-70 % de HR_{max} , dado que se ha demostrado que reduce la concentración de lactato sanguíneo más rápidamente [59].

ENTRENAMIENTO DE LA RESISTENCIA EN EL FÚTBOL

El ejercicio intermitente a 90-95% de HR_{max} durante 3-8 minutos impone una carga mayor sobre los órganos encargados del transporte de oxígeno. Al entrenar a esta intensidad, la mejora en $VO_2\text{max}$ va de 10-30 % dentro de un período de entrenamiento de 8 a 10 semanas, con variaciones individuales debidas al nivel inicial de aptitud física, duración y frecuencia de entrenamiento [8, 60, 61]. Cuando se entrena en una intensidad menor a 60-80 % de HR_{max} , se observó sólo un 5-10% de aumento en el $VO_2\text{max}$ en los participantes del estudio que eran sedentarios [60, 62].

El trabajo intermitente durante un tiempo inferior a 2 minutos en donde parte del tiempo transcurre en ejercicios a una intensidad de trabajo baja o en estar parados, tal como se puede observar durante un partido de fútbol, sobrestimará el VO_2 basado en mediciones de HR en comparación con los períodos de trabajo más largos. Durante los primeros 1-2 minutos se produce un déficit de oxígeno debido al ajuste de la respiración y la circulación y sobre todo del volumen sistólico frente al ejercicio. El momento en que se alcanza este estado coincide con la adaptación del gasto cardíaco, HR y ventilación pulmonar [18]. Se ha demostrado experimentalmente que el gasto cardíaco alcanza su valor más alto en la carga que produce el $VO_2\text{max}$ [57, 58]. Es necesario destacar que el volumen sistólico máximo se alcanza durante, y no después del ejercicio. Es un concepto erróneo creer que la ventaja del entrenamiento intervalado es que los frecuentes períodos de recuperación *per se* producen un entrenamiento efectivo de la circulación central [18]. Cuando se realizan ejercicios en intensidades superiores a las intensidades que producen el $VO_2\text{max}$, el VO_2 , el gasto cardíaco y el volumen sistólico pueden alcanzar valores incluso más bajos que durante una tasa de trabajo ligeramente menor. No hay ninguna evidencia que apoye la suposición de que es importante comprometer los procesos anaeróbicos a un grado extremo para entrenar la potencia aeróbica motora [18, 63]. En estas intensidades altas, la concentración de lactato sanguíneo sube rápidamente y la tolerancia frente al ejercicio se ve afectada [64].

Varios estudios describen los parámetros fisiológicos, tácticos y técnicos durante un partido de fútbol que caracterizan a los jugadores de los diferentes niveles [2, 42, 44, 50]. Aun cuando estos estudios muestran una correlación entre el $VO_2\text{max}$ y estos parámetros seleccionados, la pregunta básica es si esto es simplemente una correlación o un fenómeno de causa y efecto. Hasta el momento solo se ha reportado un estudio de intervención sobre el efecto de mejorar la resistencia aeróbica en el rendimiento en fútbol. Nuestro estudio [8] se llevó a cabo para evaluar los efectos de un protocolo de entrenamiento, cuyo objetivo era mejorar la resistencia aeróbica en el rendimiento de fútbol. La hipótesis fue que al aumentar la resistencia aeróbica mejoraría la distancia recorrida, la intensidad de trabajo, el número de sprints y el manejo de la pelota durante un partido de fútbol.

En el estudio participaron diecinueve varones jugadores de fútbol de elite de la categoría menores, de 18.1 ± 0.8 años de edad quienes fueron asignados al azar a un grupo que realizó entrenamiento ($n = 9$) o a un grupo control ($n = 10$). Los entrenamientos aeróbicos específicos consistieron en entrenamiento intervalado, 4x4 minutos a 90-95% de HR_{max} , con un trote intermedio de 3 minutos, dos veces por semana durante 8 semanas. Los jugadores fueron supervisados por video durante dos partidos disputados en contra del mismo equipo, uno antes y uno después del entrenamiento. En el grupo que

realizó el entrenamiento, el $VO_2\text{max}$ aumentó de 58.1 ± 4.5 a 64.3 ± 3.9 mL/kg/min; el LT aumentó de 47.8 ± 5.3 a 55.4 ± 4.1 mL/kg/min; la economía de carrera aumentó 7%; la distancia recorrida durante un partido aumentó 20%; el número de sprints se incrementó 100%; el número de participaciones con la pelota aumentó 24%; y la intensidad media de trabajo durante un partido, medida como porcentaje de HR_{max} , mejoró de 82.7 ± 3.4 a $85.6 \pm 3.1\%$. No se observaron cambios en la altura máxima de salto vertical, fuerza, velocidad, velocidad de patadas, precisión de patadas o calidad de los pases después del período de entrenamiento. El grupo control que realizó entrenamiento convencional no presentó cambio en ninguna de las variables evaluadas. Por lo tanto los autores concluyeron que la mayor resistencia aeróbica en jugadores de fútbol mejoró el rendimiento en fútbol a través del aumento en la distancia recorrida, en la intensidad de trabajo, el número de sprints y el manejo de la pelota durante un partido.

El grupo que realizó el entrenamiento presentó una mejora en el umbral de lactato (LT) en términos absolutos, pero no en relación al $VO_2\text{max}$. En estudios que utilizaron presente procedimiento del LT, corredores de fondo altamente entrenados presentaron el LT a aproximadamente 85% del $VO_2\text{max}$ [7, 40]. Esto coincide con los resultados presentes para jugadores de fútbol. El protocolo de entrenamiento usado en este estudio no fue diseñado específicamente para aumentar el LT. Un régimen de entrenamiento así normalmente implicaría la utilización de una intensidad de trabajo de entre 85 a 90% de HR_{max} [20]. Sin embargo las mejoras en el $VO_2\text{max}$ normalmente van acompañadas por un aumento en LT. Por lo tanto el aumento en LT es un resultado del cambio en el $VO_2\text{max}$ y en la economía de carrera. El grupo que realizó el entrenamiento pasó 19 minutos más que el grupo control en la zona de alta intensidad ($>90\%$ de HR_{max}). Esto probablemente se deba a un mayor $VO_2\text{max}$ en el grupo que realizó el entrenamiento debido a que se ha observado que la utilización fraccional del $VO_2\text{max}$ depende en parte del nivel de entrenamiento [40]. Sin embargo, la capacidad de permanecer durante un período más largo en la misma intensidad de ejercicio relativa depende más del ahorro del glucógeno muscular. Así, la cantidad de glucógeno y el nivel de entrenamiento de los músculos involucrados en el ejercicio son decisivos para mantener una intensidad de trabajo relativa específica. El entrenamiento de resistencia en fútbol debe poner énfasis en mejorar el $VO_2\text{max}$ y, a su vez, mejorar el LT. La economía de carrera aumentó 7% en el grupo que realizó el entrenamiento como resultado del protocolo de entrenamiento. Por otra parte la mejor economía de carrera era esperable en base a la carrera más exhaustiva durante la práctica en comparación con el grupo control.

Idealmente, el entrenamiento de resistencia de jugadores de fútbol debería realizarse utilizando la pelota. Los jugadores podrían desarrollar adicionalmente habilidades técnicas y tácticas similares a las obtenidas en situaciones experimentadas durante un partido. Además normalmente se cree que la motivación del jugador es más alta cuando utiliza la pelota. Sin embargo, a menudo la intensidad de trabajo se reduce cuando se utilizan los elementos más técnicos y tácticos. Bangsbo et al. [1] demostraron que un juego de cuatro contra cuatro en una cancha cuyo tamaño era la mitad del de una cancha de fútbol normal, requiere una intensidad de trabajo más alta que cuando la cancha se reduce a un tercio del tamaño normal (Figura 1).

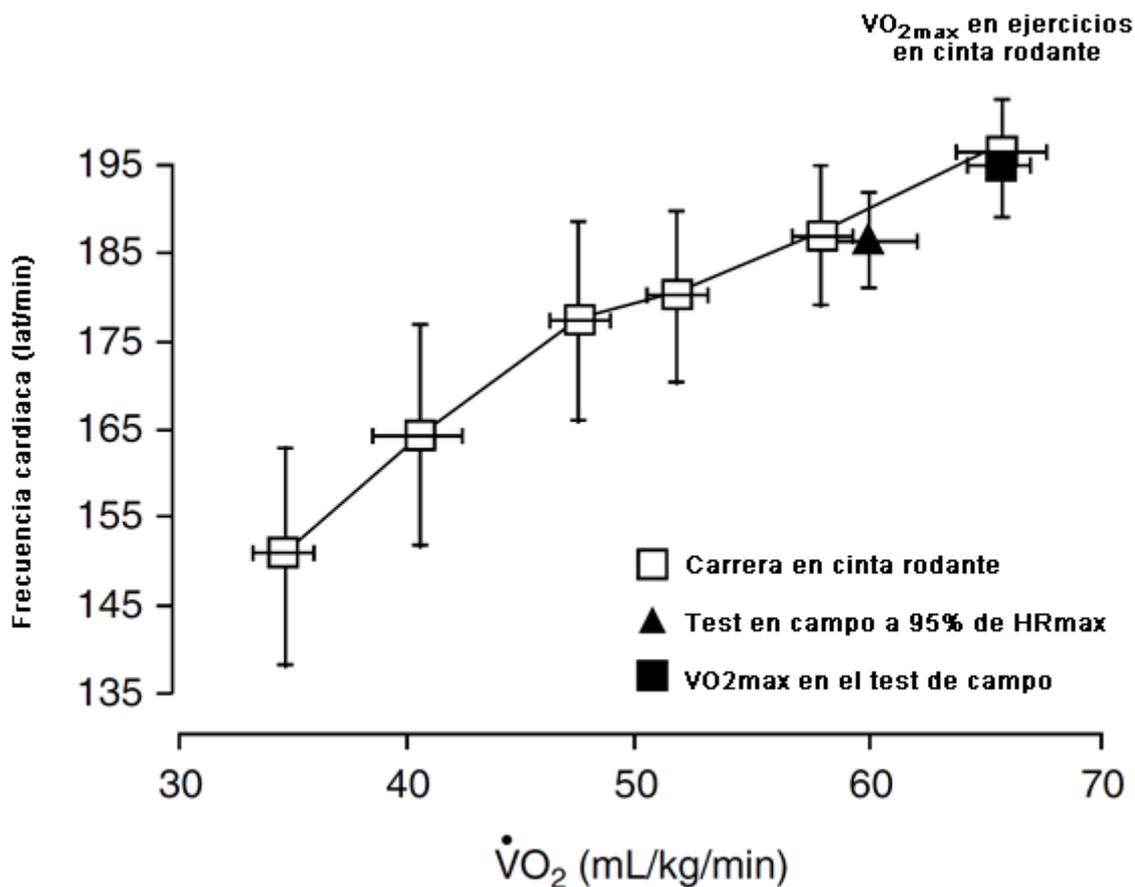


Figura 1. Correlación entre el consumo de oxígeno (VO₂) y la frecuencia cardíaca en diferentes velocidades submáximas durante pruebas realizadas en cinta rodante, durante un partido de 5 contra 5 controlado activamente por los entrenadores y entrenamiento intervalado de 4 minutos de (gambeta) dribbling realizado en el campo a 90 -95% de la frecuencia cardíaca máxima (HR_{max}). Extraído de Hoff et al (65). VO₂max= Consumo de oxígeno máximo.

Por lo tanto en el estudio de Hoff et al., [65] el objetivo fue determinar si la gambeta (*dribbling*) y el juego en pequeños grupos eran un criterio de entrenamiento de resistencia eficaz para mejorar el VO₂, con una intensidad del ejercicio de 90-95% de HR_{max} durante períodos de 3-5 minutos, y, además, si la HR en el entrenamiento específico para fútbol es una medida válida de la intensidad de trabajo real. Seis jugadores de fútbol de primera división bien entrenados participaron en el estudio. Los jugadores recorrieron un circuito de *dribbling* diseñado especialmente (Figura 2) y también participaron en juegos en espacios reducidos. Se realizaron pruebas de laboratorio para establecer la relación entre HR y VO₂ mientras los participantes corrían en una cinta rodante. Las mediciones correspondientes fueron realizadas en el campo del fútbol con un sistema portátil de medición del VO₂. La intensidad del ejercicio durante los juegos en espacios reducidos fue 91,3% de la HR_{max} o 84,5% del VO₂max. Los valores correspondientes obtenidos en el circuito de *dribbling* fueron del 93,5% y 91,7% (Figura 1). El hallazgo principal de este estudio fue que el entrenamiento de fútbol diseñado específicamente cumplió con el criterio del entrenamiento aeróbico intervalado. Además, el monitoreo de la HR fue una medida válida de la intensidad real del ejercicio en este tipo de modo de entrenamiento (Figura 1). Es importante destacar que esto requiere una buena organización porque no es posible alcanzar una intensidad de ejercicio satisfactoria durante juegos en espacios reducidos sin una participación activa de los entrenadores. El hecho que jugadores con el mayor VO₂max tuvieran el porcentaje más bajo de VO₂max durante los juegos en espacios reducidos sugiere que la situación de juego diseñada para este experimento tiene un límite para el desarrollo de resistencia aeróbica.

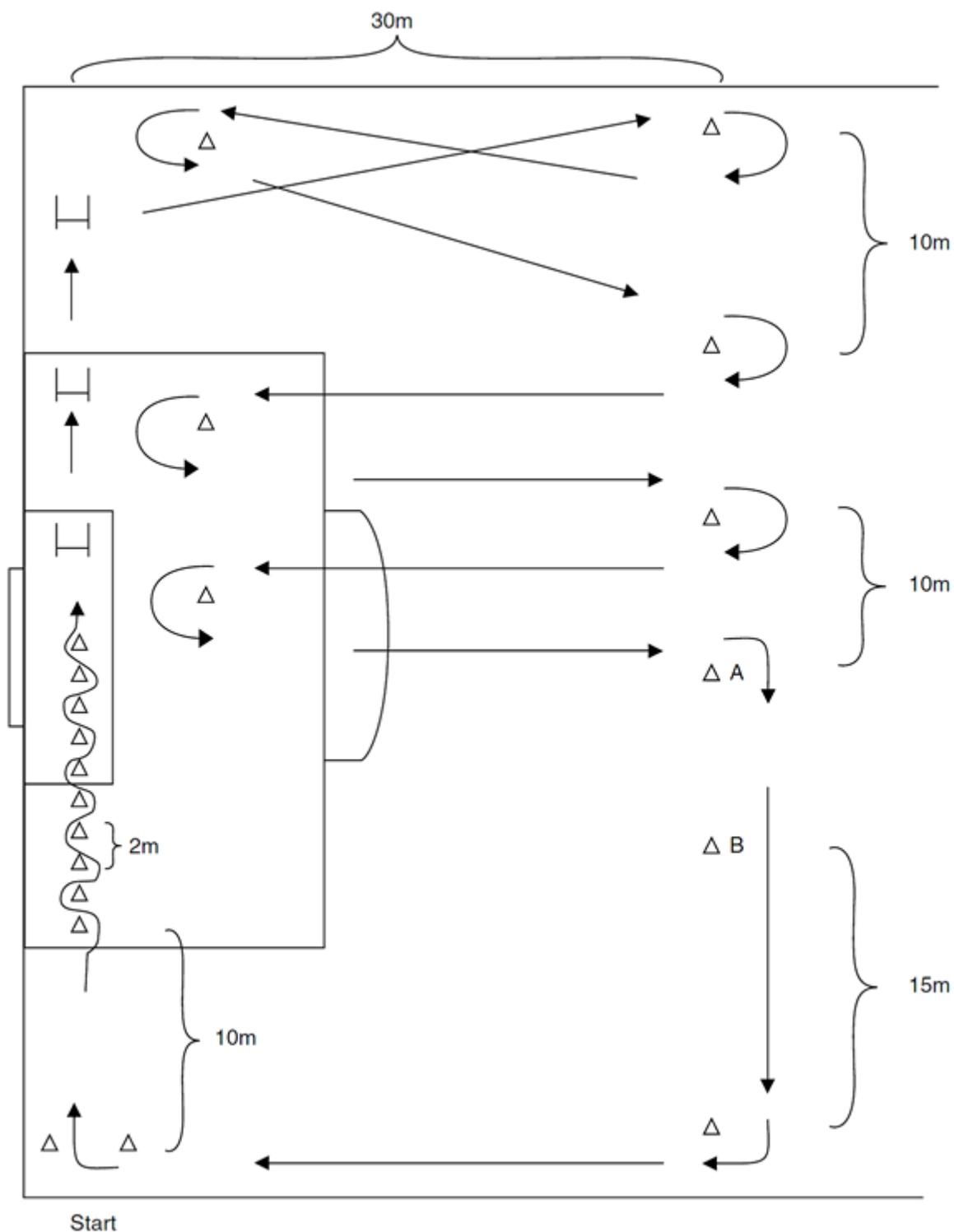


Figura 2. Circuito de dribbling específica para fútbol utilizada para el entrenamiento del consumo de oxígeno máximo. La pelota es dribbleada siguiendo la dirección de las flechas, con jugadores que corren hacia atrás entre los puntos A y B. En los experimentos, los jugadores corrieron continuamente durante 4 minutos (extraído y reproducido con autorización de Hoff et al., (65)).

Por consiguiente, los jugadores con un VO_{2max} alto deberían entrenar en el circuito (diagrama) de *dribbling* en donde la mayor intensidad del ejercicio se alcanza más fácilmente, o deberían correr de manera ascendente para lograr la misma respuesta al entrenamiento que los jugadores con menor VO_{2max} .

Nuestra sugerencia de que un jugador de 75 kg debería alcanzar 70 mL/kg/min, representa aproximadamente el mismo

VO₂max promedio que tienen esquiadores alpinos de elite que sólo compiten durante 1-2 minutos. Cada equipo deberá evaluar si el entrenamiento de la resistencia debe ser organizado en forma de sesión de juego en un circuito de dribbleo o solamente en forma de carrera. Los sistemas de monitoreo de HR son probablemente necesarios para controlar la intensidad del entrenamiento y para asegurar desarrollos similares a los de nuestros experimentos.

LA FUERZA Y SUS DERIVADOS: ACELERACIÓN, SALTO, SPRINT

En el contexto aeróbico de un partido de fútbol, los eventos más interesantes durante un partido están representados por el trabajo de alta intensidad, como los sprints, abordajes (*tackles*) y tiros. Cada 90 segundos se produce una serie de sprint [66] de 2-4 segundos de duración [1, 66, 67]. El sprint constituye el 1-11% de la distancia total del partido [1, 66] lo que equivale a 0,5-3,0% del tiempo de juego efectivo [1, 67-69]. Asumiendo que cada sprint tiene una duración mínima de 2 segundos, el número de sprints por jugador por partido sería 6-12 para un buen equipo junior [8]. Un jugador de fútbol profesional realiza aproximadamente 50 giros realizando contracciones poderosas para mantener el equilibrio y control de la pelota contra la presión defensiva durante un partido [70].

Los datos normativos descriptivos para jugadores de fútbol en lo que se refiere a la fuerza, saltos y sprints no se muestran frecuentemente. Se han utilizado diferentes tests para evaluar los parámetros de fuerza en jugadores de fútbol de élite. La mayoría de los estudios [13, 15, 71, 72] han utilizado equipos isocinéticos con diferentes velocidades y ángulos de articulación, lo que dificulta las comparaciones directas. La potencia muscular ha sido medida tradicionalmente por medio de saltos verticales, y ha arrojado valores que están entre 500 y 600mm para jugadores de fútbol de élite. [44, 73] Un equipo que frecuentemente participa en la Liga Europea de Campeones (*European Champions League*) presentó un valor promedio de 164 ± 21.8 kg en una repetición máxima (1RM) en media sentadilla con peso libre (descender hasta alcanzar un ángulo de 90 grados entre el fémur y la tibia), mientras que un equipo con menor rendimiento pero de la primera liga, presentó un valor promedio de 135 ± 16.2 kg. La altura de salto correspondiente medida usando una plataforma de fuerza Kistler (Kistler AG, Suiza) determinó que el movimiento vertical del centro de gravedad fue 567 ± 66 mm y 531 ± 40 mm para los dos equipos, respectivamente [42]. El mismo equipo de la Liga de Campeones fue evaluado unos años después y presentó una fuerza máxima similar de 165.6 ± 24.5 kg. Los jugadores informaron antecedentes de entrenamiento con sentadillas no sistemático. La fuerza máxima presentó una elevada correlación con el rendimiento en salto y sprint, siendo la altura de salto vertical de 564 ± 40 mm, lo que coincide con los resultados obtenidos por Reilly et al. [41] y los tiempos de sprint desde un inicio detenido de 1.82 ± 0.3 segundos, 3.0 ± 0.83 segundos y 4.0 ± 0.2 segundos para 10 m, 20 m y 30 m, respectivamente. Los valores de r correspondientes fueron $r = 0.78$ ($p < 0.02$) entre 1RM y la altura de salto, $r = 0.94$ ($p < 0.001$) entre 1RM y el sprint de 10 m, y $r = 0.71$ ($p < 0.01$) entre 1RM y el sprint de 30 m [74]. Otro equipo, que también había participado en la Liga Europea de Campeones en 2000, presentó un valor medio de 1RM en media sentadilla de $115.7 \pm 23, 1$ kg y tiempos de sprint de 10m y 20m de 1.87 ± 0.06 segundos y 3.13 ± 0.10 segundos, respectivamente [61]. Raven et al [75] utilizaron 1RM en press de banca para evaluar la fuerza muscular de jugadores de fútbol profesionales e informaron un valor medio de 73 ± 4.0 kg. Los valores de press de banca correspondientes a los equipos de la Liga de Campeones y a los equipos de categoría inferior evaluados por Wisløff et al. [42] fueron 82.7 ± 12.8 kg y 77.1 ± 16.5 kg, respectivamente.

CONSIDERACIONES FISIOLÓGICAS PARA EL ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA EN JUGADORES DE FÚTBOL

Para aumentar la fuerza y la potencia se emplean una variedad de métodos de entrenamiento, principalmente en aquellos deportes que exigen aceleración y desarrollo de fuerza explosiva para realizar sprints y saltos. La fuerza se define como el resultado integrado de varios músculos productores de fuerza que actúan de manera máxima ya sea isométricamente o dinámicamente durante un esfuerzo voluntario de una tarea definida. Generalmente la fuerza máxima se define en términos de 1RM de un movimiento estandarizado, por ejemplo del ejercicio de sentadillas. La potencia es un producto de la fuerza y la inversa del tiempo, es decir la capacidad de producir tanta fuerza como sea posible en el tiempo más corto posible. A menudo las investigaciones sobre el entrenamiento de la fuerza arrojan conclusiones claras en términos de práctica de entrenamiento deportivo porque frecuentemente existen diferencias en las técnicas de medición. Tradicionalmente, se han realizado muchas investigaciones utilizando mediciones isométricas o movimientos isocinéticos. Estas dos técnicas tienen un interés limitado en términos de valor predictivo para deportes dinámicos o movimientos cotidianos, tal como se observa en el ejemplo presentado por Thorstenson et al. [76] en donde la mejora funcional de 70% en 1RM en sentadillas se redujo a una representación de 20% en la fuerza estática máxima y no tuvo ninguna

representación en la extensión isocinética de la rodilla.

La capacidad de un músculo de desarrollar fuerza depende de muchos factores diferentes, de los cuales los más comunes son: la posición inicial, velocidad de estiramiento, velocidad de acortamiento, fase inicial excéntrica, tipos de fibras musculares, número de unidades motoras activas al mismo tiempo, área transversal del músculo, frecuencia de impulso y sustratos disponibles para el ejercicio del músculo [77].

El desarrollo de los métodos de entrenamiento se ha basado tradicionalmente en los principios de especificidad, y se intenta que el entrenamiento concuerde con la especificidad del propio deporte en cuanto al tipo de contracción, fuerza de contracción, movimientos y velocidad [77, 78]. Principalmente, existen dos mecanismos diferentes que son la base para el desarrollo de la fuerza muscular; la hipertrofia muscular y las adaptaciones neurales.

Hipertrofia Muscular

La hipertrofia muscular es un efecto del entrenamiento de la fuerza, y hay una conexión entre el área transversal del músculo y su potencial para el desarrollo de fuerza [79]. Este aumento se asocia con un gran aumento en la cantidad de miofibrillas de las fibras [80]. En un entrenamiento sistemático de la fuerza durante un período de tiempo, la hipertrofia estará presente en todos los tipos de fibras musculares. Sin embargo, varios estudios demuestran que las fibras de contracción rápida presentan la mayor hipertrofia [79, 81].

En ciertos deportes, el aumento de peso debido a la hipertrofia no es deseable porque el atleta tendrá que transportar una mayor masa corporal (m_b). Además, al aumento en la masa muscular no necesariamente aumenta la fuerza de alta velocidad. Tesch y Larson [82] observaron un deterioro en la capacidad de desarrollar torque a alta velocidad en fisiculturistas en comparación con un grupo de referencia de levantadores de pesas de competición. La disminución en la velocidad máxima de contracción produciría una mayor disminución en la fuerza en las velocidades altas de la curva fuerza-velocidad. Si bien los cambios en la capacidad de desarrollar torque en velocidades altas podrían ser una consecuencia de la alteración en la arquitectura del músculo con hipertrofia, también podrían estar relacionados con la especificidad de la velocidad. Generalmente, el fisiculturismo incluye un gran volumen de movimientos con grandes sobrecargas y velocidad lenta para promover el efecto de hipertrofia [82].

Se han informado varios métodos para desarrollar hipertrofia muscular [83]. A menudo se utilizan ocho a doce repeticiones en series con resistencia submáxima (60-90% de la fuerza dinámica máxima). La ejecución del movimiento es bastante lenta, y la fase excéntrica, en particular, es lenta. Una meta de usar este método de entrenamiento es agotar totalmente los músculos. Las micro roturas podrían tener un efecto anabólico [82]. También se ha informado el aumento en la densidad capilar durante el entrenamiento para la hipertrofia [83] que mejoraría la capacidad aeróbica del músculo. Se ha observado que el entrenamiento a largo plazo para la hipertrofia, aumenta el peso corporal.

Adaptaciones Neurales

Durante la última década, el foco del entrenamiento de la fuerza se ha centrado en las adaptaciones neurales [77]. El término "adaptaciones neurales" es una descripción amplia que abarca varios factores, como la activación selectiva de unidades motoras, la sincronización, activación selectiva de los músculos, las contracciones balísticas, tasa de disparo (frecuencia), mayor potencial de reflejo, mayor reclutamiento de unidades motoras y aumento en la co-contracción de antagonistas [84]. Una parte significativa de la mejora en la capacidad de levantar peso se debe a una mayor capacidad de coordinar otros grupos musculares que participan en el movimiento, como los que estabilizan el cuerpo [85].

Para desarrollar fuerza máxima, el músculo depende de la mayor cantidad posible de unidades motoras activas. En una contracción voluntaria máxima, se reclutan primero las fibras oxidativas pequeñas [86] y las fibras glucolíticas más rápidas se reclutan en último lugar. En las etapas tempranas de un período de entrenamiento, se observa un aumento en la actividad de las fibras glucolíticas rápidas con un aumento en la fuerza [78]. El sistema nervioso central recluta las unidades motoras enviando impulsos nerviosos hacia la neurona motora. El aumento en la frecuencia de disparo contribuye con un mayor potencial de desarrollo de fuerza [78]. La mayor activación muscular puede deberse a un menor umbral de reclutamiento y a una mayor frecuencia de potenciales de acción generados. Estos cambios son las posibles explicaciones para el aumento de la fuerza.

Behm y Sale [77] sugirieron dos principios principales para la adaptación neural máxima. Para entrenar las unidades motoras más rápidas que desarrollan la mayor fuerza uno tiene que trabajar con cargas altas (85-95% de 1RM), lo que garantiza la contracción voluntaria máxima. La ventaja máxima se obtendría si los movimientos se entrenan, además de con una elevada carga, con una acción rápida. Como método para aumentar la tasa de desarrollo de fuerza, basado en las adaptaciones neurales, Schmidtbleicher [79] sugirió la realización de movimientos dinámicos con pocas repeticiones (3-7). La resistencia debe ir de submáxima a máxima (85-100% de 1RM), con movimientos explosivos. Esto podría producir

adaptación neuromuscular con mínima hipertrofia [87].

Los estudios de entrenamiento a largo plazo han demostrado una movilidad temporalmente más rápida de la actividad nerviosa después de entrenamiento de alta intensidad con cargas altas [88-89]. Los posibles mecanismos para explicar esto son que los atletas entrenados pueden reclutar las unidades motoras más rápidamente, y que la tasa de activación es más rápida en los atletas entrenados. La frecuencia de activación normal es aproximadamente 10-60 Hz. Un aumento en la velocidad de activación a 100 Hz puede producir un reclutamiento más rápido de las fibras musculares y, por consiguiente, un menor tiempo posible para el desarrollo de fuerza máxima [79].

Muchas investigaciones han documentado la existencia de algunos efectos específicos de la velocidad durante el entrenamiento de la fuerza (por ejemplo Behm y Sale [77]), aunque no se han establecido con claridad cuales son los mecanismos que provocan este efecto. Se ha sugerido que el intento de hacer una contracción a gran velocidad podría ser el factor más importante en la especificidad de la velocidad [84]. Los resultados de Almásbakk y Hoff [87] señalan al desarrollo de coordinación como el factor determinante de los aumentos tempranos de fuerza específicos de la velocidad. Además, Sale [78] sugirió que los ejercicios del entrenamiento deben asemejarse lo mas posible a los movimientos deportivos en lo que se refiere al patrón de movimiento.

Jones y Rutherford [90] observaron un aumento experimental de 200%, en 1RM, acompañado sólo por una hipertrofia escasamente significativa de 5%. Hoff y Almásbakk [91] observaron un aumento de 35% en 1RM en los participantes del estudio altamente entrenados y no observaron cambios en el peso corporal ni en el tamaño muscular. Hoff et al. [92] realizaron un estudio con esquiadores de salto de la copa mundial y observaron una mejora de 13% en 1RM en sentadillas y no observaron cambios en el peso corporal, lo que demuestra que las adaptaciones neurales también se presentan después de las fases tempranas del entrenamiento de la fuerza.

En un trabajo de revisión, McDonagh y Davies [93] resumieron 11 informes de investigación que relacionaban las cargas y las repeticiones, y establecieron que las cargas inferiores a 66% de 1RM no produjeron aumentos en la fuerza, aun cuando se utilizaran 150 contracciones por día, mientras que las cargas superiores a 66% de 1RM aumentaron la contracción voluntaria máxima de 0,2 a 2% por día. Además, cargas superiores a 66% en un número de repeticiones tan bajo como 10 por día, produjeron un aumento significativo en la fuerza. Los aumentos en la fuerza dinámica fueron mayores en los casos en los que se utilizaron las cargas más pesadas. Dons et al [94] demostraron que una carga de 80% de 1RM produjo un aumento significativo en 1RM mientras que una carga de 50% de 1RM no lo hizo, aun cuando ambos grupos realizaron el mismo trabajo mecánico cada día.

Las adaptaciones al entrenamiento que se producen para las adaptaciones neurales y la hipertrofia serían diferentes. El entrenamiento para la hipertrofia debería poner énfasis en las acciones excéntricas/concéntricas con cargas altas, pero con más de seis repeticiones [82, 83]. El dolor muscular de aparición tardía activaría la hipertrofia que es la razón detrás de la práctica sugerida en el fisiculturismo [82]. Los fisiculturistas usan 10-12 repeticiones y las ultima o las dos últimas se fuerzan de modo tal que el fisiculturista no pueda seguir levantándolas pero lo intente con la asistencia necesaria. Los fisiculturistas usan típicamente pausas cortas (1-2 minutos) y un mínimo de 4-5 series hasta alcanzar el agotamiento completo del grupo muscular.

Para las adaptaciones neurales y por lo tanto para el entrenamiento explosivo, es importante activar todas las unidades motoras, pero sobre todo las unidades motoras de "contracción rápida" de umbral alto. Nardone et al. [95] demostraron que, a diferencia del principio del tamaño de Henneman de reclutamiento ordenado de unidades motoras, algunas unidades motoras de umbral alto/contracción rápida se activan antes que las unidades motoras de contracción lenta/umbral bajo durante el entrenamiento excéntrico. Esto apunta a entrenamientos que incluyan contracciones excéntricas y contracciones concéntricas. Para aumentar la tasa de desarrollo de fuerza, se recomienda incluso el uso de cargas mas altas/bajo número de repeticiones. Cuando se realiza la comparación con los participantes desentrenados del estudio las adaptaciones de este entrenamiento de alta intensidad serían un reclutamiento rápido de unidades motoras y una mayor tasa de activación de neuronas motoras [89, 96, 97]. El número de series en el entrenamiento en fuerza máxima o la tasa de desarrollo de fuerza es generalmente 3-5, de modo que un ejercicio en una sesión de entrenamiento generalmente incluye 20 repeticiones [79]. Si la meta es aumentar la tasa de desarrollo de fuerza y la fuerza máxima por medio de adaptaciones neurales sin producir cambios en el peso corporal, se recomienda un régimen de entrenamiento con 4-6 repeticiones en 3-4 series que utilice una movilización de fuerza máxima, o velocidad máxima "intencional" en la fase concéntrica [77, 79, 87, 90-91].

La escala dimensional también debe ser considerada cuando se evalúan las mediciones de fuerza [42]. En dos individuos idénticos geoméricamente y cuantitativamente similares, uno podría esperar que todas las dimensiones lineales (L) sean proporcionales. La longitud de los brazos, piernas y músculos individuales tendrán una relación L: 1, un área transversal L²: 1 y una relación volumen L³: 1. Debido a que la fuerza muscular está relacionada con el área transversal del músculo y la masa corporal (mb_s), varía directamente con el volumen corporal y las mediciones de fuerza muscular del cuerpo entero

variarán siguiendo una proporción $mb^{0.67}$. En términos prácticos, esto significa que no se debe fijar las metas de entrenamiento en relación a mb_b . Una meta de entrenamiento de levantar el propio peso corporal en press de banca o dos veces el peso corporal para la media sentadilla es accesible para un individuo liviano pero muy difícil para una persona grande. Por lo tanto debe compararse la fuerza relativa entre los individuos en términos de $kg/mb_b^{0.67}$. Wisøff et al. [42] sugirieron que 200 kg era un valor razonable para que un jugador de 75 kg realice media sentadillas. En términos de escala y de fuerza relativa similar, esta meta representa 180 kg para la media sentadilla para un jugador de 65 kg y 220 kg para un jugador de 80 kg.

Varios autores han señalado diferencias de fuerza entre las posiciones de los equipos profesionales [98]. Cuando se realiza un nuevo cálculo teniendo en consideración la escala alométrica, estas diferencias generalmente desaparecen.

ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA PARA JUGADORES DE FÚTBOL

Durante un partido de fútbol la fuerza y la potencia son tan importantes como la resistencia. La fuerza máxima es una cualidad básica que influye en la producción de potencia. Generalmente un aumento en la fuerza máxima está vinculado con un aumento en la fuerza relativa y, por consiguiente, con un aumento de las capacidades de potencia. Se ha observado una relación significativa entre 1RM y la velocidad de aceleración y de movimiento. [99]. Esta relación de rendimiento de fuerza máxima/potencia está respaldada por resultados de pruebas de salto y por resultados de pruebas de sprints de 30 m [79, 92]. Aumentando la fuerza disponible de contracción muscular en los músculos o grupos musculares apropiados, es posible mejorar la aceleración y la velocidad de las destrezas fundamentales para el fútbol como los giros, los sprints y el cambio de velocidad [1]. Un partido de fútbol está regido por la aceleración y el frenando, y la segunda ley de Newton de movimiento ($F = m \times a$) establece que para una cierta masa (peso corporal del jugador), la aceleración es proporcional a la magnitud de la fuerza. Esto establece la relación tan cercana que existe entre la fuerza y los resultados de sprint y de salto.

En fútbol se han realizado pocos estudios de intervención de entrenamiento. Hoff y Helgerud [100] demostraron que en jugadores de fútbol que realizaron entrenamiento para adaptaciones neurales tres veces por semana durante 8 semanas (cinco repeticiones en cuatro series utilizando 85%+ de 1RM poniendo énfasis en la movilización máxima en la acción concéntrica) obtuvieron un aumento en 1RM en media sentadilla de 161 a 215 kg en un grupo de 8 jugadores. Su tasa de desarrollo de fuerza aumentó 52% al mismo tiempo. Los resultados de sprints de 10 m mejoraron en 0.08 segundos, pasando de 1.91 a 1.81, o casi 1 m en 10 m. El rendimiento en sprints de 40 m mejoró en 0.13 segundos pasando de 5.68 a 5.65 segundos.

En una intervención en un equipo de la Champions League durante la pretemporada, Helgerud et al. [61] utilizaron entrenamiento para la adaptación neural, cuatro repeticiones en cuatro series, con cargas cerca del 90% de 1RM y con énfasis en la movilización máxima de fuerza en el modo concéntrico. Luego de 8 semanas, entrenando dos veces por semana (aproximadamente 15 minutos por sesión) los jugadores mejoraron sus 1RM en media sentadilla de 116 a 176 kg. El resultado del sprint de 10 m mejoró de 1.87 a 1.81 segundos lo que equivale a más de medio metro en una distancia de 10 m, y el sprint de 20 m presentó una mejora de 3.13 a 3.08 segundos. La altura de salto aumentó de 57.2 a 60.2 cm. Durante el período de entrenamiento no se realizó entrenamiento para sprints o saltos a excepción de lo que estaba vinculado con el juego de fútbol. Debido a que las evaluaciones post test debieron ser realizadas el día posterior al duro campamento de entrenamiento de 2 semanas, los resultados habrían sido aún mejores con la recuperación.

La sugerencia en un trabajo de investigación de 1998 [42] que un jugador de 75 kg debe presentar valores de 1RM en media sentadilla de 200 kg es modesta y debe ser sólo una meta temporal, porque representa menos de la fuerza máxima promedio de una sprinter de sexo femenino que corre 100 m en 11.0-11.5 segundos.

EFFECTOS DEL ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA SOBRE EL RENDIMIENTO DE RESISTENCIA

El efecto del entrenamiento concurrente de la fuerza y la resistencia sobre el rendimiento físico ha sido un tema de investigación popular durante la última década. Varios estudios han concluido que el entrenamiento de la resistencia inhibe o interfiere con el desarrollo de la fuerza [101-105]. Sin embargo algunos estudios, han analizado el impacto que tiene el entrenamiento de la fuerza sobre el rendimiento de resistencia. Hickson et al. [106] observaron un aumento de

27% en 1RM en sentadillas paralelas después de 10 semanas de entrenamiento de fuerza máxima en el cual se utilizaron sentadillas y tres ejercicios suplementarios. El VO_2max no presentó cambios durante el mismo período, mientras que la resistencia a corto plazo (4-8 minutos), determinada como tiempo hasta el agotamiento en carrera en cinta rodante y en una bicicleta ergométrica, aumentó 13% y 11%, respectivamente. Entre los individuos con VO_2max y/o $\text{VO}_{2\text{pico}}$ similares, la economía de trabajo y el rendimiento pueden variar considerablemente [40, 107]. Johnston et al. [108] y Paavolainen et al., [109] han afirmado que el aumento de la fuerza podría tener un efecto positivo en la economía de trabajo pero las diferentes intervenciones de entrenamiento dificultan el seguimiento entre causa y efecto. Hoff et al. [100, 110, 112] realizaron experimentos con intervenciones de entrenamiento y observaron una relación directa entre el entrenamiento de la fuerza máxima para las adaptaciones neurales y el aumento en la economía de trabajo. El costo de oxígeno en el umbral del lactato (LT) en un ejercicio de esquí de fondo de estilo *double poling* realizado por esquiadores de competición con un mínimo de 10 años de entrenamiento, se redujo en 10-27% y no se observaron cambios en LT o en VO_2max .

Se ha demostrado en jugadores de fútbol, que el entrenamiento de fuerza máxima para adaptaciones neurales mejora la economía de carrera en 4,7% después de un aumento en el entrenamiento de la fuerza de 1RM de 33,7% [100]. No se observaron cambios en el peso corporal ni en LT o VO_2max . Un segundo experimento con intervenciones de entrenamiento [61] reveló cambios similares. La economía de carrera para jugadores de fútbol está entre 0.75-0.80 mL/kg $0,75^{0,75}$ /min. El primer experimento presentó la economía de carrera en LT y el segundo en una velocidad fija de 11 km/h con una inclinación de 5%. Los valores correspondientes para los corredores de maratón son 0.55-0.65 mL/kg $0,75^{0,75}$ /min, pero evaluados con una inclinación de 1.75% [40]. El efecto del rendimiento producido por la intervención de fuerza permite una adaptación en lo que respecta a la economía de carrera que es equivalente a la mitad del efecto que fue observado por Helgerud et al. [8] para los aumentos en VO_2max . Los efectos del entrenamiento de la fuerza sobre el rendimiento de resistencia fueron revisados recientemente. [113]

ENTRENAMIENTO CONCURRENTE DE LA FUERZA Y LA RESISTENCIA EN EL FÚTBOL

Varios autores han concluido que el entrenamiento de la resistencia inhibe o interfiere con el desarrollo de la fuerza [101,104, 105, 114]. Sin embargo, Helgerud et al. [8] demostraron un aumento sustancial en VO_2max durante una intervención de 8 semanas sin reducción en la capacidad de realizar sprints o de saltar. De manera similar, una intervención de entrenamiento de la fuerza máxima que produjo mejoras sustanciales en tiempos de sprint y altura de salto así como en la economía de carrera, no presentó ninguna disminución en el VO_2max ni en el LT [92, 100]. Dado que las respuestas fisiológicas dependen de procesos biológicos bastante diferentes, no es lógico que la fuerza inhiba a la resistencia o viceversa, siempre y cuando se disponga de tiempo suficiente y de una buena calidad de recuperación.

Se realizó un estudio en el cual un equipo de fútbol de élite realizó un entrenamiento de resistencia de alta intensidad y de intervalos largos junto con entrenamiento de la fuerza máxima para obtener adaptaciones neurales [61]. En este estudio participaron veintinueve jugadores de fútbol de élite, que habían participado recientemente en la *European Champions League*. Durante una intervención de 8 semanas, el VO_2max aumentó de 60.5 ± 4.8 a 65.7 ± 5.2 mL/kg/min y 1RM en media sentadilla aumentó de 115.7 ± 23.1 a 176.4 ± 18.2 kg. Además, el sprint de 10 m presentó una mejora de 0.06 segundos, o más de 0.5 m; la altura de salto vertical aumentó significativamente 3 cm; y la economía de carrera mejoró un 4.7%. La conclusión general fue que no habría ningún efecto negativo de realizar entrenamiento aeróbico alta intensidad junto con entrenamiento de fuerza máximo. Para aumentar el nivel de rendimiento es necesario incluir entrenamiento de fuerza máximo y entrenamiento de alta intensidad con intervalos largos en el entrenamiento de pre temporada de los jugadores profesionales de fútbol.

CONCLUSIONES

Los niveles de rendimiento físico en el fútbol profesional son moderados cuando se compara con otros deportes donde los recursos físicos desempeñan el mismo papel relativo al explicar el rendimiento. El principio de especificidad es fuerte dentro del entrenamiento de fútbol y también dentro de las adaptaciones fisiológicas en el fútbol. Una extensión lógica de un principio de especificidad indicaría que el entrenamiento más eficaz para la fuerza y la resistencia durante un partido de fútbol es el mismo partido. Las investigaciones realizadas sobre las respuestas al entrenamiento demuestran claramente que este no es el caso, y las capacidades relativamente modestas de los jugadores de fútbol de máximo nivel apuntan al

potencial para mejorar el rendimiento.

Las investigaciones fisiológicas han desarrollado el entrenamiento del VO_2max como el rasgo más importante para la resistencia en un partido de fútbol, y han demostrado que intervalos de 3 a 8 minutos a 90-95% de la frecuencia cardíaca máxima con períodos de eliminación de lactato intermedios producen un aumento tanto de la capacidad de resistencia aeróbica como del rendimiento en fútbol.

Las investigaciones sobre el entrenamiento de la fuerza demuestran que el entrenamiento máximo de la fuerza usando cargas altas (85%+ de 1RM) y velocidad intencional máxima en la acción concéntrica provoca respuestas altas en sprints y saltos en jugadores de fútbol. El hecho que el mismo entrenamiento también aumente el rendimiento aeróbico, a través de una mejor economía de trabajo, es otra razón importante por la cual se debe introducir este tipo de entrenamiento. Entender y comunicar los nuevos desarrollos alcanzados en las investigaciones fisiológicas probablemente es el menor de los problemas en lo que se refiere a cambiar las prácticas de entrenamiento existentes. El desafío es asegurar que esta información sea incorporada por los entrenadores y jugadores de fútbol.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al BMJ Publishing Group por permitir la reproducción de las figuras del British Journal of Sports Medicine. 2002; 36: 219-21. No se recibió ningún tipo de subsidio para financiar la publicación de este manuscrito. Los autores declaran que no poseen ningún conflicto de interés que tenga relevancia directa con el contenido de este manuscrito.

REFERENCIAS

1. Bangsbo J, Nørregaard L, Thorsøe F, et al. (1991). Activity profile of competition soccer. *Can J Sport Sci*; 16: 110-6
2. Smaros G. (1980). Energy usage during a football match. In: *Vecciet L, editor. Proceedings of the 1st International Congress on Sports Medicine Applied to Football; 1980; Rome. Rome: D. Guanello,; 795-801*
3. Shephard RJ. (1999). Biology and medicine of soccer: an update. *J Sports Sci*; 17: 757-86
4. Bangsbo J. (1994). Physiological demands. In: *Eklblom B, editor. Football (soccer). London: Blackwell: 43-59*
5. Reilly T. (1994). Physiological profile of the player. In: *Eklblom B, editor. Football (soccer). London: Blackwell: 78-95*
6. Van Gool D, Van Gerven D, Boutmans J. (1988). The physiological load imposed on soccer players during real match-play. In: *Reilly T, Lees A, Davids K, et al., editors. Science and football. London: Spon: 51-9*
7. Helgerud J, Ingjer F, Strømme SB. (1990). Sex differences in performance-matched marathon runners. *Eur J Appl Physiol*; 61: 433-9
8. Helgerud J, Engen LC, Wisløff U, et al. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc*; 33: 1925-31
9. White JE, Emery TM, Kane JL, et al. (1988). Pre-season fitness profiles of professional soccer players. In: *Reilly T, Lees A, Davis K, et al., editors. Science and football. London: Spon, 164-71*
10. Tumilty D. (1993). Physiological characteristics of elite soccer players. *Sports Med*; 16: 80-96
11. Bangsbo J, Lindquist F. (1992). Comparison of various exercise tests with endurance performance during soccer in professional players. *Int J Sports Med*; 13: 125-32
12. Apor P. (1988). Successful formulae for fitness training. In: *Reilly T, Lees A, Davis K, et al., editors. Science and football. London: Spon: 95-107*
13. Davis J, Brewer J, Atkin D. (1992). Pre-season physiological characteristics of English first and second division soccer players. *J Sports Sci*; 10: 541-7
14. Nowacki PE, Cai DY, Buhl C, et al. (1988). Biological performance of German soccer players (professionals and juniors). *tested by special ergometry and treadmill methods. In: Reilly T, Lees A, Davis K, et al., editors. Science and football. London: Spon, 145-57*
15. Rhodes EC, Mosher RE, McKenzie DC, et al. (1986). Physiological profiles of the Canadian Olympic soccer team. *Can J Appl Sport Sci*; 11: 31-6
16. Thomas V, Reilly T. (1979). Fitness assessment of English League soccer players throughout the competitive season. *Br J Sports Med*; 13: 103-9
17. Williams C, Reid RM, Coutts R. (1973). Observation on the aerobic power of university rugby players and professional soccer players. *Br J Sports Med*; 7: 390-1
18. Astrand P-O, Rodahl K. (1986). Textbook of work physiology. *New York: McGraw-Hill Book Company*
19. Maughan RJ. (1969). Marathon running. In: *Reilly T, Snell P, Williams C, et al., editors. Physiology of sports. London: Spon, 121-52*
20. Pate RR, Kriska A. (1984). Physiological basis of the sex difference in cardiorespiratory endurance. *Sports Med*; 1: 87-98
21. Pollock ML. (1977). Submaximal and maximal working capacity of elite distance runners: part 1. *Cardiorespiratory aspects. Ann N Y Acad Sci*; 301: 310-22
22. Farrell PA, Wilmore JH, Coyle EF, et al. (1979). Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med Sci Sports*

23. Conley DL, Krahenbuhl GS. (1980). Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc; 12: 248-52*
24. Di Prampero PE, Atcho G, Bruckner JC, et al. (1986). The energetics of endurance running. *Eur J Appl Physiol; 55: 259-66*
25. Bunc V, Heller J. (1989). Energy cost of running in similarly trained men and women. *Eur J Appl Physiol; 59: 178-83*
26. Saltin B. (1990). Maximal oxygen uptake: limitations and maleability. In: Nazar K, Terjung RT, editors. *International perspectives in exercise physiology. Champaign (IL): Human Kinetics Publishers, 26-40*
27. Strömme S, Ingjer F, MeenHD. (1977). Assessment of maximal aerobic power in specifically trained athletes. *J Appl Physiol; 42: 833-7*
28. Shephard RJ. (1977). *Endurance fitness. 2nd ed. Toronto: University of Toronto Press*
29. Piiper J, Scheid P. (1981). Model of capillary-alveolar equilibration with special reference to O₂ uptake in hypoxia. *Respir Physiol; 46: 193-208*
30. Wagner PD. (1993). Algebraic analysis of the determinants of VO₂max. *Respir Physiol; 93: 221-37*
31. Wagner PD. (1996). A theoretical analyses of factors determining VO₂max at sea level and altitude. *Respir Physiol; 106: 329-43*
32. Powers SK, Laler J, Dempsey J, et al. (1989). Effects of incomplete pulmonary gas exchange on VO₂max. *J Appl Physiol; 66: 2491-5*
33. Wagner PD. (1991). Central and peripheral aspects of oxygen transport and adaptations with exercise. *Sports Med; 11: 133-42*
34. Knight DR, Schaffartzik W, Poole DC, et al. (1993). Effects of hyperoxia on maximal leg O₂ supply and utilization in humans. *J Appl Physiol; 75: 2586-94*
35. Richardson RS, Leigh JS, Wagner PD, et al. (1999). Cellular PO₂ as a determinant of maximal mitochondrial O₂ consumption in trained human skeletal muscle. *J Appl Physiol; 87: 321-31*
36. Roca J, Agusti AGN, Alonso A, et al. (1992). Effects of training on muscle O₂ transport at VO₂max. *J Appl Physiol; 73: 1067-76*
37. Davis JA. (1985). Anaerobic threshold: review of the concepts and directions of future research. *Med Sci Sports Exerc; 17: 6-18*
38. Brooks GA. (1986). Lactate production under fully aerobic conditions: the lactate shuttle during rest and exercise. *Fed Proc; 45: 2924-9*
39. Costill DL, Thomas H, Roberts E. (1973). Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Med Sci Sports Exerc; 5: 248-52*
40. Helgerud J. (1994). Maximal oxygen uptake, anaerobic threshold and running economy in women and men with similar performances level in marathons. *Eur J Appl Physiol; 68: 155-61*
41. Reilly T. (1990). Football. In: Reilly T, Secher N, Snell P, et al., editors. *Physiology of sports. London: Spon, 371-426*
42. Wisløff U, Helgerud J, Hoff J. (1998). Strength and endurance of elite soccer players. *Med Sci Sports Exerc; 30: 462-7*
43. BerghU, Sjødin B, Forsberg A, et al. (1991). The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. *Med Sci Sports Exerc; 23: 205-11*
44. Green S. (1992). Anthropometric and physiological characteristics of South Australian soccer players. *Aust J Sci Med Sport; 24: 3-7*
45. Bangsbo J. (1998). Quantification of anaerobic energy production during intense exercise. *Med Sci Sport Exerc; 30: 47-52*
46. Bosco C. (1990). Strength elasticity in football. In: Santilli G, editor. *Sports medicine applied to football. Rome: CONI, 63-70*
47. Margada R, Aghemo P, Rovelli E. (1966). Measurement of muscular power (anaerobic). in man. *J Appl Physiol; 21: 1661-4*
48. Di Prampero PE, Finera Limas F, Sassi G. (1970). Maximal muscular power, aerobic and anaerobic, in the athletes performing at the XIXth Olympic Games in Mexico. *Ergonomics; 13: 665-74*
49. Withers RT, Roberts RGD, Davies GJ. (1977). The maximum aerobic power, anaerobic power and body composition of South Australian male representatives in athletics, basketball, field hockey and soccer. *J Sports Med Phys Fitness; 17: 391-400*
50. Balsom P. (1994). Evaluation of physical performance. In: Ekblom B, editor. *Football (soccer). Oxford: Blackwell, 102-22*
51. Smith M, Clark G, Hale T, et al. (1993). Blood lactate levels in college soccer players during match play. In: Reilly T, Clarys J, Stibbe A, editors. *Science and football II. London: Spon, 129-34*
52. Wagner PD. (2000). New ideas on limitations to VO₂max. *Exerc Sport Sci Rev; 1: 10-4*
53. Richardson RS. (2000). What governs skeletal muscle VO₂max? New evidence. *Med Sci Sports Exerc; 32:100-7*
54. Higginbotham MB, Morris KG, Williams RS, et al. (1986). Regulation of stroke volume during submaximal and maximal upright exercise in normal man. *Circ Res; 58: 281-91*
55. Plotnick GD, Becker LC, Fisher ML, et al. (1986). Use of Frank-Starling mechanism during submaximal versus maximal upright exercise. *Am J Physiol Heart Circ Physiol; 251: H1101-5*
56. Ekblom B, Hermansen L. (1968). Cardiac output in athletes. *J Appl Physiol; 25: 619-25*
57. Gledhill N, Cox D, Jamnik R. (1994). Endurance athletes' stroke volume does not plateau: major advantage in diastolic function. *Med Sci Sports Exerc; 26: 1116-21*
58. Zhou B, Conlee RK, Jensen R, et al. (2001). Stroke volume does not plateau during graded exercise in elite male distance runners. *Med Sci Sports Exerc; 33: 1849-54*
59. Hermansen L, Stensvold I. (1972). Production and removal of lactate during exercise in man. *Acta Physiol Scand; 86: 191-201*
60. American College of Sports Medicine. (1998). Position stand: the recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc; 30: 975-91*
61. Helgerud J, Kemi OJ, Hoff J. (2002). Pre-season concurrent strength and endurance development in elite soccer players. In: Hoff J, Helgerud J, editors. *Football (soccer): new developments in physical training research. Trondheim: NTNU, 55-66*
62. Pollock ML. (1973). The quantification of endurance training program. In: Wilmore JH, editor. *Exercise and sport sciences review. New York: Academic Press Inc., 1, 155*
63. Tabata IK, Nishimura K, Kouzaki M, et al. (1996). Effect of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO₂max. *Med Sci Sports Exerc; 28: 1327-30*
64. Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, et al. (1994). Principles of exercise testing and interpretation. 2nd ed. Philadelphia (PA): Lea & Febiger, 17-32

65. Hoff J, Wisløff U, Engen LC, et al. (2002). Soccer specific aerobic endurance training. *Br J Sports Med*; 36: 218-21
66. Reilly T, Thomas V. (1976). A motion analysis of work-rate in different positional roles in professional football match-play. *J Hum Mov Stud*; 2: 87-97
67. O'Donoghue P. (2001). Time-motion analysis of work rate in elite soccer. In: *Tavares Mha F, editor. Notational analysis of sport IV: Centre for Team Sports Studies. Porto: Faculty of Sport Sciences and Physical Education, University of Porto, 65-70*
68. Ali A, Farrally M. (1991). A computer-video aided time-motion analysis technique for match analysis. *J Sports Med Phys Fitness*; 31: 82-8
69. Bangsbo J. (1992). Time and motion characteristics of competition soccer. *Sci Football*; 6: 34-40
70. Withers RT. (1982). Match analyses of Australian professional soccer players. *J Hum Mov Stud*; 8: 159-76
71. De Proft E, Cabri J, Dufor W, et al. (1988). Strength training and kick performance in soccer players. In: *Reilly T, Lees A, Davids K, et al., editors. Science and football. London: Spon, 108-13*
72. Mangine RE, Noyes FR, Mullen MP, et al. (1990). A physiological profile of the elite soccer athlete. *J Orthop Sports Phys Ther*; 12: 147-52
73. Gauffin H, Ekstrand J, Arneson L, et al. (1989). Vertical jump performance in soccer players: a comparative study of two training programs. *J Hum Mov Stud*; 16: 159-76
74. Wisløff U, Castagna C, Helgerud J, (et al.). Maximal squat strength is strongly correlated to sprint performance in elite soccer players. *Br J Sports Med. In press*
75. Raven P, Gettman L, Pollock M, et al. (1976). A physiological evaluation of professional soccer players. *Br J Sports Med*; 109: 209-16
76. Thorstensson A, Hulten B, von Döbeln W, et al. (1976). Effect of strength training on enzyme activities and fibre characteristics in human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand*; 96: 932-98
77. Behm DG, Sale DG. (1993). Velocity specificity of resistance training. *Sports Med*; 15: 374-88
78. Sale DG. (1992). Neural adaptations in strength training. In: *Komi P, editor. Strength and power in sport. London: Blackwell, 249-95*
79. Schmidtbleicher D. (1992). Training for power event. In: *Komi P, editor. Strength and power in sport. London: Blackwell, 381-95*
80. Goldspink G. (1992). Cellular and molecular aspects of adaption in skeletal muscle. In: *Komi P, editor. Strength and power in sport. London: Blackwell, 211-29*
81. McDougall JD. (1992). Hypertrophy or hyperplasia. In: *Komi P, editor. Strength and power in sport. London: Blackwell, 3-6*
82. Tesch P, Larson L. (1982). Muscle hypertrophy in bodybuilders. *Eur J Appl Physiol*; 49: 301-6
83. Tesch PA. (1992). Short- and long-term histochemical and biological adaptations in muscle. In: *Komi P, editor. Strength and power in sport. London: Blackwell, 381-395*
84. Behm DG. (1995). Neuromuscular implications and applications of resistance training. *J Strength Cond Res*; 4: 264-74
85. Rutherford OM, Jones A. (1986). The role of coordination in strength training. *Eur J Appl Physiol*; 55: 100-5
86. Freund HJ. (1983). Motor unit and muscle activity in voluntary motor control. *Physiol Rev*; 63: 387-436
87. Almasbakk B, Hoff J. (1996). Coordination, the determinant of velocity specificity? *J Appl Physiol*; 80: 2046-52.
88. Moritani T, de Vries HA. (1979). Neural factors vs hypertrophy in time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med Rehabil*; 58: 115-30
89. Komi PV. (1986). Training of muscle strength and power: interaction of neuromotoric, hypertrophic and mechanical factors. *Int J Sports Med*; 7 Suppl. 1: 10-6
90. Jones DA, Rutherford OM. (1987). Human muscle strength training: the effects of three different regimes and the nature of the resultant changes. *J Physiol*; 391: 1-11
91. Hoff J, Almásbakk B. (1995). The effects of maximum strength training on throwing velocity and muscle strength in female team-handball players. *J Strength Cond Res*; 9: 255-8
92. Hoff J, Berdahl GO, Bråten S. (2001). Jumping height development and body weight considerations in ski jumping. In: *Müller E, Schwameder H, Raschner C, et al., editors. Science and skiing II. Hamburg: Verlag Dr Kovac, 403-12*
93. McDonagh MJN, Davies CTM. (1984). Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *Eur J Appl Physiol*; 52: 139-55
94. Dons B, Bollerup K, Bonde-Peder sen F, et al. (1979). The effect of weight-lifting exercise related to muscle fibre composition and muscle cross-sectional area in humans. *Eur J Appl Physiol*; 40: 95-106
95. Nardone A, Romano C, Schieppati M. (1989). Selective recruitment of high threshold motor units during voluntary isotonic lengthening of active muscles. *J Physiol*; 409: 451-71
96. Schmidtbleicher D, Bührle M. (1987). Neuronal adaptation and increase of cross-sectional area studying different strength training methods. In: *Johnson B, editor. Biomechanics XB. Champaign (IL): Human Kinetics, 615-20*
97. Häkkinen K, Alen M, Komi PV. (1984). Neuromuscular, anaerobic, and aerobic performance characteristics of elite power athletes. *Eur J Appl Physiol*; 53: 97-105
98. Bangsbo J. (1998). The physiological profile of soccer players. *Sports Exerc Injury*; 4: 144-50
99. Bührle M, Schmidtbleicher D. (1977). The influence of maximal strength training on movement velocity [in German]. *Leistungssport*; 7: 3-10
100. Hoff J, Helgerud J. (2002). Maximal strength training enhances running economy and aerobic endurance performance. In: *Hoff J, Helgerud J, editors. Football (soccer): new developments in physical training research. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology, 39-55*
101. Dudley GA, Djamil R. (1985). Incompatibility of endurance and strength-training modes of exercise. *J Appl Physiol*; 59: 1446-51
102. Hickson RC. (1980). Interference of strength development by simultaneous training for strength and endurance. *Eur J Appl Physiol*; 45: 255-63
103. Kraemer WJ, Patton JF, Gordon SE, et al. (1995). Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J Appl Physiol*; 73: 976-89

104. Chromiac JA, Mulvaney DR. (1990). A review: the effects of combined strength and endurance training on strength development. *J Appl Sport Sci Res*; 4: 55-60
105. Hennessy LC, Watson AWS. (1994). The interference effects of training for strength and endurance simultaneously. *J Strength Cond Res*; 8: 12-9
106. Hickson RC, Dvorak BA, Gorostiaga EM, et al. (1988). Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *J Appl Physiol*; 65: 2285-90
107. Costill DL, Branam G, Eddy D, et al. (1971). Determinants of marathon running success, *Int Z Angew Physiol*; 29: 249-54.
108. Johnston RE, Quinn TJ, Kertzer R, et al. (1997). Strength training in female distance runners: impact on running economy. *J Strength Cond Res*; 11: 224-9
109. Paavolainen L, Häkkinen K, Hámáláinen I, et al. (1999). Explosive strength training improve 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol*; 86: 1527-33
110. Hoff J, Helgerud J, Wisløff U. (1999). Maximal strength training improves work economy in trained female cross-country skiers. *Med Sci Sports Exerc*; 31: 870-7
111. Hoff J, Gran A, Helgerud J. (2002). Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scand J Med Sci Sports*; 12: 288-95
112. Osteras H, Helgerud J, Hoff J. (2002). Maximal strength training effects on force-velocity and force-power relationships explain increases in aerobic performance in humans. *Eur J Appl Physiol*; 88: 255-63
113. Hoff J, Helgerud J, Wisløff U. (2002). Endurance training into the next millenium: muscular strength training effects on aerobic endurance performance: a review. *Am J Med Sports*; 4: 58-67
114. Nelson AG, Arnall DA, Loy SF, et al. (1990). Consequences of combining strength and endurance regimens. *Phys Ther*; 70: 287-94

Cita Original

Jan Hoff and Jan Helgerud. Endurance and Strength Training for Soccer Players: Physiological Considerations. *Sports Med*; 34 (3): 2004.