



Original / *Deporte y ejercicio*

Influencia de la dieta y el ejercicio en el perfil proteómico de una población deportista

Rocio Toro¹, Alipio Mangas¹, Maribel Quezada¹, Manuel Rodriguez-Rosety¹, Gabriel Fournielles¹, Ignacio Rodriguez-Rosety¹, Miguel Angel Rodriguez Rosety¹, Jose Angel Alonso², Francisco Jose Garcia-Cozar² y Maria del Carmen Duran²

¹Departamento de Medicina, Facultad de Medicina, Cádiz. ²Departamento de Salud Pública y Biotecnología, Facultad de Medicina, Cádiz. España.

Resumen

Introducción: La nutrición se ha erigido como una herramienta fundamental incluida en el programa de entrenamiento de los deportistas. La composición corporal persigue diferentes objetivos según el deporte, la posición o momento de la temporada. Por otro lado, la proteómica permite analizar la estructura y función de las proteínas.

Objetivos: Estudiar, utilizando la proteómica, la influencia de dos dietas diferentes sobre el perfil antropométrico en un grupo de jugadores de rugby.

Metodos: Es un estudio prospectivo y de intervención. Treinta y dos jugadores de rugby fueron incluidos en el estudio. Se definieron dos grupos arbitrariamente, unos siguieron la dieta proteica (DP) y otros la dieta mediterránea (DM). A todos se les realizó una valoración antropométrica al inicio y tras seis meses de seguimiento. A 22 de estos pacientes, la mitad de cada grupo, se les tomo una muestra de sangre que se utilizó para el análisis proteómico.

Resultados: La DM se destaca más beneficiosa para estos deportistas. Se definieron dos grupos en función de su comportamiento antropométrico, G1 and G2. En el análisis proteómico estos se relacionaron significativamente con varios mediadores de la familia TGF- β . **CONCLUSIONES:** La DM promueve el incremento de masa muscular sin incremento del peso total, ello podría ser determinante a la hora de definir los perfiles de los deportistas. Miembros de la familia TGF- β podrían estar implicados en el balance de tejido adiposo y masa muscular.

(Nutr Hosp. 2014;30:1110-1117)

DOI:10.3305/nh.2014.30.5.7697

Palabras claves: *Deportistas. Dieta mediterránea. Proteómica. Compartimentos antropométricos. TGF- β .*

DIET AND EXERCISE INFLUENCE ON THE PROTEOMIC PROFILE OF AN ATHLETE POPULATION

Abstract

Introduction: Nutrition has emerged as a fundamental tool included in the training program of athletes. Body composition seeks different objectives depending on type of sport, position, or time of the season. Furthermore, analysis proteomics allows us to know the structure and function of proteins.

Aims: To study, using proteomics, the influence of two different diets on the anthropometric profile in a rugby players group.

Methods: It is a prospective and interventionist study. Thirty-two rugby players were included. Two groups were defined, one followed proteic diet (PD) and, the other group subscribed the Mediterranean diet (MD). All participants were evaluated anthropometrically at the beginning and after six months. A blood sample was taken to twenty –two players, half of each group, used for the proteomic analysis.

Results: MD highlight more benefit for these athletes. Two groups were defined based on their anthropometric behavior, G1 and G2. The proteomic analysis related significantly some TGF- β family mediators with these groups. **CONCLUSIONS:** MD improves the muscular mass without increasing the total body weight, so this data could be determinant to define profiles for athletes. Some TGF- β members could be implicated in the adipose tissue and muscular mass balance.

(Nutr Hosp. 2014;30:1110-1117)

DOI:10.3305/nh.2014.30.5.7697

Key words: *Athletes. Mediterranean diet. Proteomics. Anthropometrics compartments. TGF- β .*

Correspondencia: Rocio Toro.
Departamento de Medicina.
C/Dr Marañón S/N (Cádiz).
28001 España.
E-mail: rocio.toro@uca.es

Recibido: 20-VI-2014.
Aceptado: 23-VII-2014.

Abreviaturas

BMP: proteína morfogenéticas del hueso
DM: dieta mediterránea
DP: dieta proteica
GDF: factores del crecimiento y la diferenciación
GDF-8: miostatina
INHBC: inhibina
MG: masa grasa
MMu: masa muscular
MM: masa magra
PCT: peso corporal total
SELDI –TOF: Surface enhanced Laser Dissociation and Ionization Technology
TAB: tejido adiposo blanco
TAM: tejido adiposo marrón
TGB- β : Factor de crecimiento β
TID: termogénesis inducida por la dieta

Introducción

Los deportistas profesionales se rigen por programas estrictos de entrenamiento y dietéticos para mantener el adecuado balance entre el peso corporal, la masa muscular o la magra total (MMu/MM). El peso ideal para un atleta depende del tipo de deporte que practique, del evento en el que compita o incluso de la posición que ocupe durante la competición. En el caso del rugby, estudios previos han demostrado que, durante la liga existe un deterioro del nivel competitivo según avanza la temporada. Ello se debe a varias razones, destacando los viajes y los mayores compromisos de juego¹. Por lo tanto, una nutrición adecuada se convierte en una herramienta esencial para mantener la composición corporal óptima con la finalidad de alcanzar un rendimiento máximo durante el período competitivo. En este sentido, los datos científicos sobre los hábitos nutricionales de los deportistas de élite son limitados. No está claro si las diferentes dietas provocan cambios en la masa corporal y en sus compartimentos, ni si estos cambios son beneficiosos en esta población en particular. No existen evidencias científicas que permitan extrapolar los resultados de los trabajos realizados en la población obesa a los deportistas. En el rugby moderno, el jugador debe conseguir un peso corporal que le permita un resultado máximo del producto velocidad x resistencia x masa corporal. El tener una alta masa muscular unida a una baja masa grasa es lo más deseable. Por ello se recomienda una dieta con un contenido proteico de 1.2-2 g/Kg²

Respecto a las diferentes dietas, se sabe, que el contenido de nutrientes específicos en estas puede afectar a la composición corporal, como se muestran en los resultados de Wilson y cols³. Este autor señala que el contenido proteico de una comida es el gatillo para la síntesis de las proteínas musculares. Un balance energético positivo, en combinación con el entrenamiento intenso, está consolidado como una medida eficaz a la hora de

incrementar la MMu⁴⁻⁵. Si bien, hay que considerar que los atletas muestran diferentes respuestas a una misma actuación dietética, y que son muchos los factores que influyen en el incremento de la MMu, incluyendo la propia genética del individuo⁶.

La termogénesis inducida por la dieta (TID) es la cantidad de energía necesaria para la absorción y la metabolización de los nutrientes, así como el almacenamiento de lo que no se oxida inmediatamente en forma de energía. Diferentes estudios han relacionado el proceso de la termogénesis con cambios en la composición corporal⁷⁻⁹. Se han demostrado valores de termogénesis inducida por dieta sustancialmente superiores para las comidas ricas en proteínas en relación a las ingestas ricas en grasas y en carbohidratos¹⁰. Así, el desequilibrio del metabolismo energético promueve la obesidad, incrementando los depósitos de grasa. El tejido adiposo puede desempeñar papeles opuestos; mientras que el tejido adiposo blanco (TAB) almacena energía en forma de lípidos, el tejido adiposo marrón (TAM) elimina la energía en forma de calor por la termogénesis. Ello se debe a que este último contiene mayor número de mitocondrias en comparación con otros tejidos. En el TAM, a nivel de la membrana interna de la mitocondria, se expresa una proteína llamada proteína desacoplante 1 ó termogenina, y esta proteína es capaz de ayudar a generar calor en lugar de ATP en la mitocondria. Por lo tanto, la regulación del TAM, incrementando su actividad, podría ser una posible estrategia para vencer la obesidad y, un buen mecanismo para modular la composición corporal y cada uno de sus compartimentos.

En este sentido, el músculo esquelético comparte los mismos progenitores que el TAM. Este establecido que el equilibrio fenotípico entre TAM y la célula muscular se modula a través de varios miembros de la familia del factor de crecimiento β (TGF- β)¹¹. Entre estos destaca la miostatina (GDF-8), un potente regulador negativo de la masa del músculo esquelético, y se ha revelado como una posible diana terapéutica para la obesidad y la diabetes mellitus tipo 2. De hecho, la inhibición de la GDF-8 por manipulación genética o por medios farmacológicos conduce a un incremento de la MMu y un adelgazamiento demostrado en un trabajo realizado con ratones¹². Por lo tanto, la inhibición de la GDF-8 repercute en el fenotipo de TAB. Otros miembros de la familia TGF- β como activina A o BMF-2 y 7, se cree que tienen efectos negativos similares en el músculo, aunque podrían ejercer diferentes acciones a nivel del adipocito, promoviendo la diferenciación de los progenitores en TAB o TAM, vía BMF-2 o de la BMF-7 respectivamente^{13,14}.

La mayoría de los estudios que analizan los cambios en la composición corporal de los atletas se basan en la medición de varias características antropométricas y grosor del pliegue cutáneo^{15,16}. El objetivo del presente estudio es relacionar los cambios en el perfil proteómico y las variaciones en la composición corporal en una población de atletas y, de este modo, valorar la influencia de una intervención dietética a largo plazo.

Material y métodos

El estudio se llevó a cabo desde Octubre 2012 a Marzo 2013 en Cádiz, España. Se incluyeron 32 jugadores de rugby semiprofesional con edades comprendidas entre 13-39 años, sanos, sin enfermedad familiar o personal significativa. Los sujetos fueron asignados al azar a una dieta mediterránea (DM) o una dieta hiperproteica con baja índice glucémico (DP), ambas equilibradas de 3500 kcal/día. Dieciséis individuos siguieron la DM, y los otros tantos la DP. La cantidad de proteínas en DM fue de 102 g/d y con una distribución de 30% de grasa, 12% de proteínas y 58% de carbohidratos; y en la DP el aporte de proteínas fue de 196 g/d con una distribución de 30% de grasa, 17% de proteínas y 53% de carbohidratos. Los participantes pesaron, a partir de unas instrucciones previas dadas por un experto en Nutrición, todas las comidas y bebidas consumidas durante el día. Las escalas, las tazas y platos se les facilitaron a los atletas con peso conocido. La ingesta dietética se analizó usando el programa Microdiet (Downlee System Ltd). El seguimiento de la dieta se realizaba semanalmente por nuestro experto en Nutrición que indicaba y asesoraba las raciones a consumir para alcanzar los objetivos. Durante el estudio los participantes entrenaban un promedio de 4 horas, el 70% de los ejercicios eran aeróbicos y tenían por lo menos un partido de competición semanal. El seguimiento del ejercicio físico se llevaba a cabo por el entrenador. Se recogieron los datos antropométricos. Del total de 32 deportistas incluidos, accedieron a la toma de muestras de sangre en el tiempo 0 y el tiempo 6 veintidós de los participantes, once de ellos con DP y once con DM.

A todos los deportistas se les explicó claramente el estudio, incluyendo los riesgos y beneficios. Todos firmaron el consentimiento informado por escrito. Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética del Hospital Universitario Puerta del Mar de Cádiz.

Medición de parámetros antropométricos y la recogida de muestras

Las medidas fueron tomadas en el tiempo 0, antes de que comenzara la temporada de juego, y en el tiempo 6, tras seis meses. A todos los sujetos se les tomó tres medidas consecutivas de cada una de las localizaciones descritas calculándose el valor medio de estas. El peso de los sujetos se obtuvo utilizando una báscula electrónica adecuadamente calibrada. La altura se midió con un estadiómetro Seca 216 (Vallejo, México). Los pliegues cutáneos se midieron en cuatro sitios seleccionados (bíceps, tríceps, subescapular y supra-ilíaco) con un plicómetro Hardpender Precision Professional. Los parámetros antropométricos recogidos fueron el peso, la talla, calculando el índice de masa corporal según lo establecido¹⁷. La masa grasa (MG) y MMu se calcularon utilizando la fórmula de Faulkner y Lee respectivamente^{18,19}.

Las muestras de sangre se recogieron al inicio y seis meses más tarde, en ayunas, en tubos tipo EDTA.

Perfiles proteómicos usando SELDI-TOF análisis de espectrometría de masas

Los perfiles proteicos del plasma se estudiaron usando un espectrómetro de masas con tecnología de SELDI-TOF (*Surface Enhanced Laser Dissociation and Ionization Technology*). Se siguió el protocolo de Kim SM et al²⁰. Los *arrays ProteinChip* fueron analizados utilizando el sistema ProteinChip de la serie 4000 (Personal Edition, Bio-Rad Laboratories). El rango del peso de la masa proteica se estableció desde 10 kDa a 170KDa. El software de gestión de datos ProteinChip, versión 4.0.0 (Bio-Rad) fue utilizado para el procesamiento y análisis de datos SELDI.

La identificación preliminar de las proteínas

La obtención de diferencias significativas entre las proteínas mediante la comparación de proporciones m/z, se llevo a cabo con la base de datos *Swiss-Protein UniProtKB* utilizando la herramienta TagIdent disponible en el Instituto Suizo de Bioinformática y el servidor de proteómica EXPASY, (www.expasy.org). Los *softwares* Ingenuity (www.ingenuity.com) y String 9.05 (<http://string-db.org/>) se utilizaron para obtener las posibles correlaciones entre la identificación de proteínas.

Análisis Estadístico

Los datos se analizaron usando el paquete estadístico “*Statistical Package for Social Sciences*” (SPSS), versión 14.0 (Chic, IL, USA). Se valoró la distribución de los datos mediante el test de normalidad de Kolgomorov-Smirnov. Se realizó una estadística descriptiva y se presentaron las variables cuantitativas media y la desviación típica. Para conocer las diferencias entre cada una de las variables se utilizó el test de t-Student para muestras independientes. Las correlaciones se establecieron con el análisis de Pearson. Los niveles de significación se establecieron en $p < 0,05$. Los perfiles de proteínas se contrastaron considerando las correlaciones observadas entre los datos antropométricos con la prueba de U Mann-Whitney.

Resultados

Evaluación de los cambios antropométricos

En un primer análisis no se realizó distinción entre las dietas, observándose un aumento del PCT en la población global. Este incremento se relacionó con un au-

Tabla I

Cambios antropométricos después de un programa de intervención de 6 meses con la dieta (DP o DM) junto con el entrenamiento. PCT: peso corporal total; MMu: Masa muscular; MG: masa grasa; MM: Masa magra; T0: tiempo 0; T6: tiempo 6

	DIETA PROTEICA (DP) T0	DIETA MEDITERRANEA (DM) T0	DIETA PROTEICA (DP) T6	DIETA MEDITERRANEA (DM) T6	<i>p</i>
	Media±DE(kg)	Media ±DE (kg)	Media±DE(kg)	Media±DE (kg)	
PCT	83,83±4,33	82,92±6,25	85,48±3,85	83,64±5,88	0.03
MM	72,78±3,00	70,42±4,56	73,98±2,68	71,53±4,3	0.7
MMu	37,85±1,12	35,69±1,97	38,39±1,35	37,93±2,39	0.04
MG	11,15±1,40	12,50±1,78	11,51±1,36	12,11±1,68	0.6

mento en la MM, a expensas de la MMu. Por otro lado, la MG disminuyó discretamente (Fig. 1). Seguidamente, cuando se consideraron ambas dietas, (Tabla I), el incremento del PCT fue significativamente superior en los individuos que seguían la DP, si bien el aumento de la MM fue similar en ambos grupos. Por otro lado, los individuos que siguieron la DM mostraron mayor incremento de la MMu respecto a los seguidores de la DP. Los cambios en la MG fueron prácticamente similares en ambas dietas, sin variación en la DP pero con un discreto descenso en la DM. Cuando se compararon los diferentes compartimentos corporales y se detectó una correlación clara entre los cambios ocurridos en la MMu y el PCT, y en base a esta distribución se procedió a realizar una reclasificación de los pacientes. Los individuos que aumentaron tanto la MMu y como el PCT, se definió como grupo 1 (G1), y los que incrementando su MMu disminuyeron el PCT, se denominó grupo 2 (G2) (Fig. 2). Destaca que la mayoría de los individuos del G2, seguían una DM, únicamente un atleta con DP se incluyó en este grupo. Al comparar ambos parámetros, el PCT y MMu, se estableció una correlación estadísticamente significativa ($r: 0,048$)

(Fig. 2). En la tabla II, se muestran detalladamente las variaciones entre los diferentes compartimentos corporales de los G1 y G2.

Perfiles proteómicos en respuesta a la intervención dietética y el ejercicio

El análisis con el SELDI -TOF mostró un patrón diferencial de proteínas entre G1 y G2, que agruparon en dos conjuntos fundamentalmente. Se detectaron ciento noventa y siete picos de proteínas en los perfiles proteómicos, 29 de ellos fueron significativamente diferentes entre ambos grupos ($p < 0,05$): 17,24 % se encontraban en concentraciones mas elevadas en el plasma de individuos G1 mientras que 82,76 % se encontraban en niveles más altos en los individuos del G2.

La mayoría de estos picos se identificaron como citocinas relacionadas con la respuesta inmune y la respuesta a los microorganismos o enzimas catabólicas, principalmente hidrolasas, peptidasas o inhibidores de la proteasa. Asimismo, en el plasma del G1, se encontraron concentraciones elevadas de varios miembros

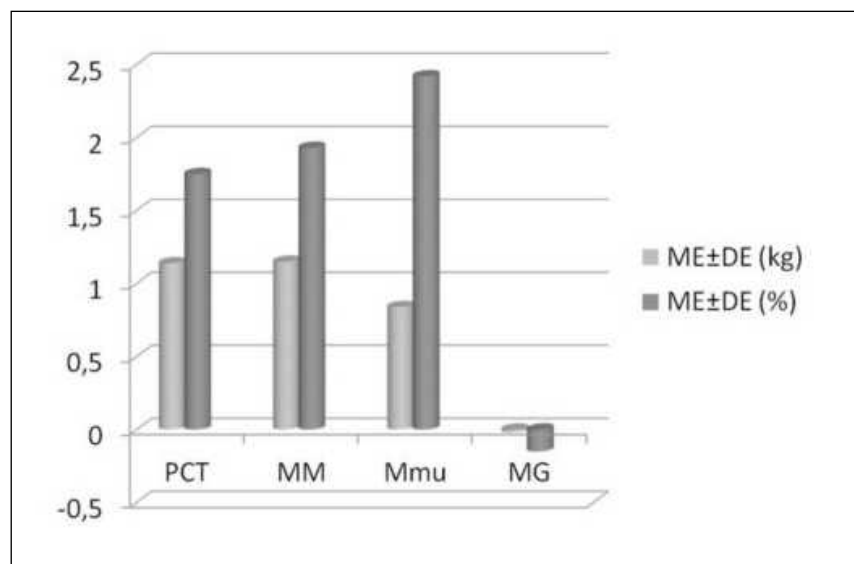


Fig. 1.—Variación en los compartimentos antropométricos de la población global sin considerar la dieta. PCT: peso corporal total; MM: masa magra; MMu: masa muscular; MG: masa grasa.

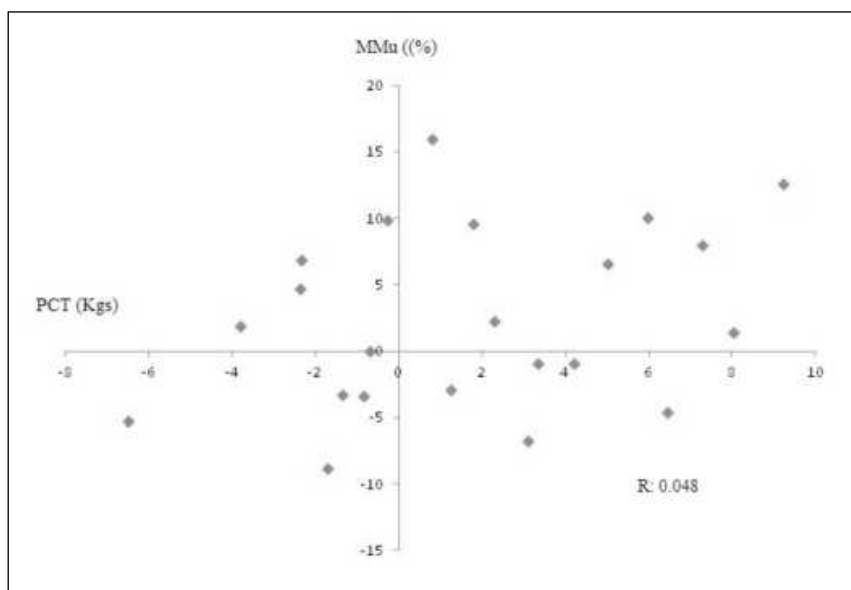


Fig. 2.—Distribución de la población deportista en grupos 1 y 2 (G1 y G2) según las variaciones del peso corporal total y la masa muscular. PCT: peso corporal total. MMu: masa muscular.

de la familia TGF β , identificados como factores del crecimiento y la diferenciación (GDF), tipo 3 GDF3 y / o del tipo de las proteína morfogenéticas del hueso (BMP) tipo 2, BMP-2. Mientras que en el del G2, se detectaron picos proteicos que corresponden a mediadores como la inhibina (INHBC), NODAL, y GDF-7 respectivamente (Tabla III).

Discusión

En nuestro estudio hemos valorado el efecto en la composición de los compartimentos corporales utilizando dos dietas equilibradas en una población deportista. En nuestros hallazgos destacan, tras un análisis detallado, un aumento del PCT, un incremento en la MM a expensas fundamentalmente de la MMu, independientemente de la dieta seguida; y por otra parte una ligera disminución de la MG. Estos resultados son similares a los obtenidos por Garthe y cols al²¹, que demuestran que la reducción de peso no es el factor más importante en la composición corporal y sus compartimentos. El trabajo de Sallinen y cols. destaca la

importancia del ejercicio y la dieta, especialmente en el grupo de atletas de más edad. Ellos demuestran un incremento del compartimento magro en atletas a expensas del compartimento muscular cuando se comparan el grupo más joven respecto a los atletas más mayores²². Asimismo, Green y cols., en concordancia con nuestros resultados, describen una disminución del PCT y la MG en atletas corredores de media distancia, que puede estar influido por el ejercicio. Por otro lado, Harley cols. evalúan los cambios antropométricos durante la temporada de competición y, detectan una reducción significativa en el compartimento magro junto a un incremento en de la masa grasa al final del estudio, en contraste con nuestros resultados. Si bien hay que destacar que las variaciones de los compartimentos corporales en este trabajo no fueron significativas entre los periodos inicial y medio de la competición¹. Según estos autores, los datos obtenidos en la etapa final, especialmente el incremento del compartimento magro, se pueden justificar por la intensidad del entrenamiento, los factores nutricionales y dietéticos, que dan un saldo positivo en lo que a consumo energético se refiere^{1,24}. La discrepancia de los resultados en los

Tabla II
Comparación de los datos antropométricos entre los grupos G1 y G2, cuando se contrasta el peso corporal total frente a la masa muscular. PCT: peso corporal total; MMu: masa muscular; MG: masa grasa; MM: masa magra; IMC: índice de masa corporal

	G 1 Media \pm DE	G 2 Media \pm DE	p
PCT	3,03 \pm 0,78	-2,68 \pm 0,93	0.001
MM	2,81 \pm 0,71	-2,01 \pm 0,87	0.0001
MMu	1,49 \pm 1,77	3,04 \pm 2,19	0.04
MG	0,17 \pm 0,4	-0,57 \pm 0,38	0.32
IMC	0,76 \pm 0,21	-0,89 \pm 0,31	0.001

Tabla III

Identificación de las concentraciones plasmáticas de los picos proteicos con significación estadística en el grupo 1 y 2. Se muestra el peso de la masa proteica que presentaron así como el gen y la proteína con los que se correlacionaron

<i>Aumentado en el grupo</i>	<i>p-value</i>	<i>M/Z</i>	<i>Masa teórica</i>	<i>GEN</i>	<i>Proteína</i>
1	0,011	12924,81	12909	GDF-3	Growth/differentiation factor 3
1	0,011	12924,81	12904	BMP-2	Bone morphogenetic protein 2
2	0,039	12548,12	12534	INHBC	Inhibin beta C chain
2	0,048	12817,97	12817	INHBB	Inhibin beta B chain /activin
2	0,048	12817,97	12819	NODAL	Nodal homolog
2	0.036	14018,87	14015	GDF-7	Growth/differentiation factor 7

diferentes trabajos sugiere que las variaciones antropométricas observadas pueden estar influidas por diversos factores, entre ellos destacan la intensidad y las características específicas de entrenamiento programado, la intervención dietética, y adaptabilidad individual del atleta así como su genética^{21,25}.

Cuando consideramos el tipo de dieta, observamos un ligero aumento del PCT en ambos grupos, mayor de forma significativa en el grupo de la DP. La tendencia de los seguidores de la DP fue la de aumentar o mantener el peso. Los individuos que siguieron la DM no presentaron cambios en el PCT tan definidos, aunque había más jugadores que perdieron PCT. Adicionalmente, ambos grupos mostraron un ligero aumento en el compartimento magro. Cuando consideramos el compartimento muscular, los jugadores que siguieron la DM presentaron un mayor porcentaje de incremento de MMu en comparación con aquellos que siguieron la DP. No hemos encontrado trabajos en la literatura que comparen la DP equilibrada y DM en atletas. Nuestro estudio indica que la DM presenta mayores beneficios que la DP cuando se trata de alcanzar un mejor equilibrio entre el PCT, MMu y MG. La tendencia de nuestra población de estudio a mantener o ganar de peso podría justificarse porque nuestros atletas siguieron una dieta equilibrada, con un aporte calórico calculado para la intensidad del ejercicio, lo que requiere un mayor consumo de energía, en comparación con otros estudios basados en poblaciones de obesidad y sedentarismo^{26,27}. Asimismo destacar, que la mayoría de los trabajos consultados basan en estudios a corto plazo. Nuestros datos se han recogido tras seis meses de intervención dietética durante la temporada de competición¹.

Basándonos en la correlación establecida entre el PCT y la MMu, observamos dos grupos bien diferenciados. Por un lado, en el G1 donde se observa un incremento del PCT junto con la MMu; y por otro el G2, predominantemente formado por individuos vinculados a la DM, que incrementan el compartimento muscular sin incrementar el PCT. Las variaciones del compartimento grasa no fueron significativas en estos grupos, si bien la G2 favorece la pérdida de MG en mayor medida. Adicionalmente, la MMu se muestra incrementada

en ambos grupos, pero en mayor proporción los individuos que siguieron la G2. Así, podemos destacar que mayores dosis de carbohidratos respecto a una dieta ligeramente elevada en proteínas, combinado con ejercicio físico proporcionan un beneficio substancial a los atletas, a la hora de mejorar su rendimiento físico disminuyendo el MG y el PCT e incrementando la MMu. Esta estrategia tiene una importancia fundamental desde el punto de vista del rendimiento deportivo, ya que permitiría adaptar las características antropométricas según las necesidades de los atletas maximizando el rendimiento de estos. No hay muchos estudios que contrasten diferentes dietas con los datos antropométricos. Tras una revisión exhaustiva de la literatura hemos encontrado escasos trabajos que específicamente relacionen los parámetros antropométricos con la DM. Alacid y cols²⁸ no encuentran diferencias significativas cuando valoran la DM de una población de kayakistas y la variación en los compartimentos antropométricos de estas. Si bien, no está claro que cantidad de los suplementos proteicos se dirigen a la síntesis de proteína. Así, la pregunta acerca de la cantidad de proteína necesaria para incrementar la MMu no está completamente aclarada en la actualidad.

Cuando analizamos el perfil proteico de los grupos G1 y G2, destacan citocinas relacionadas con la respuesta inmune. El ejercicio intenso se sabe que afectan el sistema inmune, y en algunos casos deprime la protección del huésped. Además, destaca significativamente una diferencia de concentración plasmática de varios miembros de la familia TGF- β en el G1 respecto al G2. En nuestro estudio, los individuos con incremento de MMu y PCT, pertenecientes al G1, presentaron concentraciones elevadas de GDF-3 y BMP-2, lo que es concordante con algunos trabajos experimentales realizados en este sentido^{14,29}. Ambas moléculas juegan un papel determinante la génesis y promoción del TAB. Estos factores actúan, por el complejo Smad, a través de un complejo receptor heterómero denominado ActRIIB que se encuentra en la superficie celular y a nivel intracelular^{30,31}. Este receptor está ampliamente distribuido en el músculo esquelético, tejido adiposo y otros órganos, participando en la regulación de los

músculos, la masa grasa y el hueso^{32,33}. Entre los ligandos del receptor ActRIIB, el GDF-8 se expresa casi exclusivamente en el músculo esquelético actuando como un regulador negativo del crecimiento muscular³⁴. Se ha publicado como la administración de una forma soluble del receptor ActRIIB incrementa la MMu³². Otros miembros de la familia TGF- β , como la activina A o el mediador BMP-2 (presente en el G1) y el 7, se cree que tienen efectos negativos similares en el músculo³³. Ello justificaría que aun aumentando el compartimento muscular, este incremento no sea tan marcado como en el G2. Trabajos recientes demuestran un origen común para el músculo esquelético y los adipocitos marrones donde los miembros de TGF- β son capaces de modular el cambio fenotípico de uno a otro¹⁴. En contraste con el TAB, la función principal de TAM es la termogénesis. El TAM almacena energía en forma de depósitos lipídicos en menor medida que TAB. Se ha publicado como el TAB desarrolla características propias del TAM en ratones con inhibición de la GDF-8, favoreciendo una composición corporal más delgada, y reduciendo la MG. Varias proteínas del tipo BMP favorecen la diferenciación TAB, el BMP-2 entre ellos. Así, el BMP-7 favorece la diferenciación en TAM^{12-14,35}.

Por otro lado, en el G2 las concentraciones plasmáticas de INHBC, NODAL, INNHB y GDF-7 se incrementaron. Este grupo presenta un aumento marcado de la MMu independientemente del PCT. Así, estos factores podrían promover la proliferación de las células musculares, o transformando el TAB en TAM. En este sentido, la DM podría potenciar este fenómeno mediante la activación del efecto angiogénico / termogénico a través de la inhibición de ciertos miembros de la familia TGF- β , si bien esta hipótesis necesita ser confirmada con estudios posteriores. Nuestros resultados sugieren que los mediadores moleculares NODAL, y INNHB o GDF-7 podrían ejercer un efecto beneficioso en la promoción del crecimiento muscular y la regulación de la adipogénesis evitando la obesidad. La identificación de varios miembros de la familia TGF- β sugiere la influencia de estos factores en la modulación de la composición corporal. Pueden ser considerados como posibles objetivos para modificar la MMu y PCT en la práctica deportiva, así como dianas terapéuticas en las futuras directrices nutricionales en general.

Limitaciones

Una de las nuestras limitaciones es el reducido número de la muestra, si bien es conocida la dificultad de los deportistas para seguir un programa dietético estricto. Además, no hemos considerado la posición de cada uno de los jugadores ya que consideramos como punto de partida fundamental de nuestro trabajo la dieta y el ejercicio. Diez de los deportistas inicialmente incluidos, no acabaron el estudio o no se les sacó sangre por diferentes motivos.

Conclusiones

Nuestros resultados demuestran la influencia beneficiosa de la DM en el perfil antropométrico de una población de atletas incrementando la MMu sin presentar aumento del PCT. Se ha demostrado que diferentes patrones proteicos relacionados la familia TGF- β , moduladores de la balanza entre el tejido muscular y el tejido adiposo, que podrían estar relacionados con la proliferación de células musculares, se asocian significativamente a la DM.

Referencias

1. Harley JA, Hind K, O'Hara JP. Three-compartment body composition changes in elite rugby league players during a super league season, measured by dual-energy X-ray absorptiometry. *J Strength Cond Res* 2011;25(4):1024-1029.
2. Wilson GJ, Layman DK, Moulton CJ, Norton LE, Anthony TG, Proud CG, Rupassara SI, Garlick PJ. Leucine or carbohydrate supplementation reduces AMPK and eEF2 phosphorylation and extends postprandial muscle protein synthesis in rats. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2011;301(6):E1236-42.
3. Olmos J. La alimentación del jugador de rugby en 5 pasos. *Rugby Magazine* 2007; 12-15.
4. Rozenek R, Ward P, Long S, Garhammer J. Effects of high-calorie supplements on body composition and muscular strength following resistance training. *J Sports Med Phys Fitness* 2002; 42(3):340-347.
5. Kreider RB, Klesges R, Harmon K, Grindstaff P, Ramsey L, Bullen D, Wood L, Li Y, Almada A. Effects of ingesting supplements designed to promote lean tissue accretion on body composition during resistance training. *Int J Sport Nutr* 1996;6(3):234-246.
6. Garthe I, Raastad T, Sundgot-Borgen J. Long term effect on weight loss on body composition and performance in elite athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2011;21: 426-435.
7. Visser M, Deurenberg P, van Staveren WA, Hautvast JG. Resting metabolic rate and diet-induced thermogenesis in young and elderly subjects: relationship with body composition, fat distribution, and physical activity level. *Am J Clin Nutr* 1995;61(4):772-778.
8. Poehlman ET, Melby CL, Badylak SF. Relation of age and physical exercise status on metabolic rate in younger and older healthy men. *J Gerontol* 1991;46(2):B54-8.
9. Tremblay A, Cote J, LeBlanc J. Diminished dietary thermogenesis in exercise-trained human subjects. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1983;52(1):1-4.
10. Te Morenga L, Mann J. The role of high-protein diets in body weight management and health. *Br. J. Nutr.*, 2012; 108:S130-138.
11. Kozac LP. Brown fat and the myth of the diet-induced thermogenesis. *Cell Metabolism* 2010; 11(4):263-267.
12. Lebrasseur NK. Building muscle, browning fat and preventing obesity by inhibiting myostatin. *Diabetologia* 2012 ;55(1):13-17.
13. Tseng YH, Kokkotou E, Schulz TJ, Huang TL, Winnay JN, Taniguchi CM, Tran TT, Suzuki R, Espinoza DO, Yamamoto Y, Ahrens MJ, Dudley AT, Norris AW, Kulkarni RN, Kahn CR. New role of bone morphogenetic protein 7 in brown adipogenesis and energy expenditure. *Nature*. 2008 ;454(7207):1000-4.
14. Haas B, Schlinkert P, Mayer P, Eckstein N. Targeting adipose tissue. *Diabetol. Metab. Syndr.* 2012; 4(1) 43-5996-4-43
15. Meir R. Seasonal changes in estimates of body composition in professional rugby league players. *Sport Health* 1993; 11:27-31.
16. Lundy B, O'Connor H, Pelly F, Caterson I. Anthropometric characteristics and competition dietary intakes of professional rugby league players. *Int J Sport Nut Exerc Metal* 2006;16:199-213.

17. Gabbett TJ. Physiological and anthropometric characteristics of junior rugby league players over a competitive season. *J Strength Cond Res* 2005 Nov;19(4):764-771.
18. Faulkner JA. Physiology of swimming and diving. In: Falls H (ed.) Exercise Physiology, Academic Press, Balti 1968
19. Lee RC, Wang Z, Heo M, Ross R, Janssen I, Heymsfield SB. Total-body skeletal muscle mass: development and cross-validation of anthropometric prediction models. *Am J Clin Nutr* 2001;73(5):995.
20. Kim SM, Park JS, Norwitz ER, Lee SM, Kim BJ, Park CW, Jun JK, Kim CW, Syn HC. Identification of proteomic biomarkers in maternal plasma in the early second trimester that predict the subsequent development of gestational Diabetes. *Reprod Sci*. 2012;19(2):202-9.
21. Garthe I, Raastad T, Sundgot-Borgen, J. Long-term effect of nutritional counselling on desired gain in body mass and lean body mass in elite athletes. *Applied Physiol Nutr Metab* 2011;36(4):547-554.
22. Sallinen J, Ojanen T, Karavirta L, Ahtiainen JP, Hakkinen K. Muscle mass and strength, body composition and dietary intake in master strength athletes vs untrained men of different ages. *J Sports Med Phys Fitness* 2008;48 (2):190-196.
23. Greene DA, Naughton GA, Briody JN, Kemp A, Woodhead H, Farpour-Lambert N. Musculoskeletal health in elite male adolescent middle-distance runners. *J Sci Med Sport* 2004;7(3):373-383.
24. Manore MM, Kam LC, Loucks AB, International Association of Athletics Federations. The female athlete triad: components, nutrition issues, and health consequences. *J Sports Sci* 2007;25(1):S61-71.
25. Burke LM. Energy needs of athletes. *Can J Appl Physiol* 2001; S 26: 365-383.
26. Larsen TM, Dalskov SM, van Baak M, Jebb SA, Papadaki A, Pfeiffer AF, Martinez JA, Handjieva-Darlenska T, Kunešová M, Pihlsgård M, Stender S, Holst C, Saris WH, Astrup A; Diet, Obesity, and Genes (Diogenes) Project. Diets with high or low protein content and glycemic index for weight-loss maintenance. *N Engl J Med* 2010;363(22):2102-2113.
27. Bloomer RJ, Fisher-Wellman KS. Blood oxidative stress biomarkers: influence of sex, exercise training status, and dietary intake. *Gender Med* 2008; 5(3):218-228.
28. Alacid F, Vaquero-Cristóbal R, Sánchez-Pato A, Muyor JM, López-Miñarro PÁ. Habit based consumptions in the mediterranean diet and the relationship with anthropometric parameters in young female kayakers. *Nutr Hosp*. 2014 Jan 1;29(1):121-127.
29. Philips S. Dietary protein requirements and adaptive advantages in athletes. *Br J Nutr* 2012;108 (Suppl 2):S158-67.
30. Feng XH, Derynck R. Specificity and versatility in tgf-beta signaling through Smads. *Annu Rev Cell Dev Biol* 2005;21: 659-693.
31. Burks TN, Cohn RD. Role of TGF-beta signaling in inherited and acquired myopathies. *Skelet Muscle* 2011;1(1):19.
32. Lee SJ, Reed LA, Davies MV, Girgenrath S, Goad ME, Tomkinson KN, Wright JF, Barker C, Ehrmantraut G, Holmstrom J, Trowell B, Gertz B, Jiang MS, Sebald SM, Matzuk M, Li E, Liang LF, Quattlebaum E, Stotish RL, Wolfman NM. Regulation of muscle growth by multiple ligands signaling through activin type II receptors. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2005;3;102(50):18117-22.
33. Cadena SM, Tomkinson KN, Monnell TE, Spaits MS, Kumar R, Underwood KW, Pearsall RS, Lachey JL. Administration of a soluble activin type IIB receptor promotes skeletal muscle growth independent of fiber type. *J Appl Physiol* 2010;109(3):635-642.
34. Schuelke M, Wagner KR, Stolz LE, Hübner C, Riebel T, Kömen W, Braun T, Tobin JF, Lee SJ. Myostatin mutation associated with gross muscle hypertrophy in a child. *N Engl J Med*. 2004;350(26):2682-8.
35. Razquin C, Alfredo-Martinez J, Martinez-Gonzalez MA, Corella D, Santos JM, Martí A. The mediterranean diet protects against waist circumference enlargement in 12A1a carriers for the PPAR gamma gene: 2 years' follow-up of 774 subjects at high cardiovascular risk. *Br J Nutr* 2009;102(5):672-679.