

FOSFORO: UN NUTRIENTE ESENCIAL EN LA DIETA HUMANA

G. Tomassi*

Introducción

La dieta humana, para ser completa y balanceada, debe contener nutrientes con valor energético así como nutrientes sin valor energético, en cantidades correspondientes a las necesidades fisiológicas del organismo. Estos requerimientos varían de acuerdo a las características fisiológicas y estados del organismo, en particular sexo, edad, preñez, lactancia, etc.

Los nutrientes minerales no proveen energía al cuerpo, sin embargo, son nutrientes esenciales para muchas e importantes funciones fisiológicas de carácter estructural o metabólico. Estos nutrientes se pueden categorizar por la cantidad presente en el cuerpo. El primer grupo incluye minerales que están presentes en el cuerpo en la magnitud de cientos de gramos y que deben ser suplementados en la dieta en una magnitud de cientos de miligramos. La segunda categoría incluye minerales que están presentes en el cuerpo en pocos gramos y que deben ser suplementados en la dieta en magnitudes de pocos miligramos o microgramos (Tabla 1).

El fósforo (P) pertenece a la primera categoría de minerales y está presente en el cuerpo humano en cantidades que llegan a los 800 g en un adulto. El 85% del P en el cuerpo se encuentra en huesos y dientes, principalmente en forma de hidroxapatita, con una relación en peso de 1:2 con el calcio (Ca). El resto del P se distribuye en los músculos, hígado, intestino, piel,

tejido nervioso y otros órganos y tejidos, principalmente en forma de ésteres orgánicos. En los fluidos biológicos el P está presente como ion fosfato.

Funciones fisiológicas del fósforo

Además de intervenir en la formación y estructura de los huesos, el P está envuelto en muchas funciones fisiológicas (Tabla 2), como lo evidencia la presencia de P en los iones fosfato y en diferentes compuestos orgánicos intracelulares y extracelulares o a nivel de la membrana celular.

Tabla 2. Principales funciones del fósforo en el cuerpo humano.

- Estructura de huesos y dientes
- Metabolismo de la energía
- Activación de las reacciones en todas las áreas del metabolismo
- Tampón intracelular y extracelular
- Estructura y función de la membrana celular

El ion fosfato es esencial para el metabolismo de los carbohidratos, lípidos y proteínas donde funciona como cofactor en múltiples sistemas enzimáticos y donde contribuye al potencial metabólico en forma de compuestos de alta energía (principalmente como ATP, pero también como GTP, ITP y otros nucleótidos).

Los fosfatos también juegan un papel importante en la regulación del equilibrio ácido-base en el plasma y entre las células por medio de la capacidad tampón del sistema $\text{HPO}_4/\text{H}_2\text{PO}_4$.

En el plasma el P está presente como fosfato inorgánico, la mayor parte en forma de HPO_4^{2-} y el resto como H_2PO_4^- . El fosfato circulando en el plasma está en equilibrio no solamente con el fosfato inorgánico del esqueleto y el fosfato inorgánico de las células, sino que también está en equilibrio con un gran número de compuestos orgánicos resultantes del metabolismo celular. Por esta razón, el fosfato podría ser usado como indicador del estado nutricional del P en el cuerpo. Sin embargo, debido a que altas cantidades de P pueden cambiar rápidamente entre los compartimentos extracelular, intracelular o los huesos, no se puede usar la concentración de fosfato en el plasma para estimar adecuadamente el contenido total de P en el cuerpo.

Tabla 1. Requerimientos de minerales por el cuerpo humano.

Minerales	mg/día*	_g/día*
Calcio	800	
Fósforo	800	
Magnesio	350	
Zinc	15	
Hierro	10	
Manganeso	2.0-5.0**	
Fluor	1.5-4.0**	
Cobre	1.5-3.0**	
Yodo		150
Molibdeno		75-250**
Cromo		50-200
Selenio		70

* mg = miligramos; _g = microgramos
 ** Rango adecuado y seguro

* Tomado de: Tomassi, G. 2002. Phosphorus – an essential nutrient for human diet. IMPHOS Newsletter 16: 1- 3.

Ingestión de fósforo en la dieta y metabolismo

A pesar de estar ampliamente distribuido en varios compuestos celulares y estructurales y estar envuelto en muchas e importantes funciones fisiológicas, el P no ha recibido mucha atención por los nutricionistas, debido principalmente a que está presente en casi todos los alimentos lo que hace que sean escasos los casos de deficiencia. Las fuentes más concentradas de P son el queso, la carne, el pescado y los cereales enteros (Tabla 3).

Tabla 3. Contenido promedio de fósforo en varios alimentos.

Alimento	Contenido en la parte comestible mg/100 g
Queso	600-700
Pescado	200-300
Carne	200
Huevos	200
Leche	100
Cereales	50-200
Frutas y hortalizas	20-100

El P es absorbido en un 60 a 70% como fosfato libre, pero la eficiencia de utilización de P puede cambiar con el nivel de ingestión (se incrementa a bajos niveles de ingestión) y el tipo de alimento. La presencia de oxalato (Tabla 4) puede reducir la absorción y el P en forma fitica (presente en semillas y cereales) no es inmediatamente disponible debido a que el intestino humano es deficiente en la enzima fitasa. Sin embargo, no se conoce un mecanismo fisiológico que regule la absorción intestinal del fosfato en el hombre y el control de la economía de P en el cuerpo parece que se logra por variaciones en la ingestión y por excreción renal. Por esta razón, es necesaria una normal función del riñón para mantener la estabilidad interna ya que el P en la orina representa aproximadamente el 70% del P en la dieta. La mala función renal causa, entre otras cosas, excesiva actividad de la glándula tiroides por acumulación de P.

El rango de contenido de fosfato inorgánico en el plasma humano varía entre 2.5 y 4.4 mg/dl, con una media de 3.5. Esta concentración puede variar de acuerdo a la edad, sexo, hora del día, contenido hormonal y función renal. En niños, los valores de fosfato en el plasma son generalmente mayores que en los adultos (5-6 mg/dl). El contenido de fosfato en el plasma de los hombres decrece progresivamente con la edad, pero en las mujeres declina hasta la edad de 40 años y luego se incrementa, posiblemente por razones relacionadas con la menopausia. Esto podría explicar la reabsorción de los

huesos en mujeres después de la menopausia.

Las variaciones de los niveles de fosfato inorgánico en el plasma probablemente contribuyen a la regulación de los cambios en los huesos y a la bioactivación del metabolito de la vitamina D que cambia de 250 HD₃ a 1.25 (OH)₂D₃. Se ha determinado que incrementando la ingestión de P de 500 a 3 000 mg/día se reduce significativamente la concentración de las formas activas de vitamina D en el plasma, lo que resulta en la reducción de la absorción intestinal del calcio (Ca). La habilidad para adaptarse a las fluctuaciones del contenido del P en la dieta puede depender de la respuesta del riñón para responder a la condición, incrementando o reduciendo la producción de 1.25 (OH)₂D₃.

Balance del P en la dieta

La ingestión de P en la dieta se ha relacionado con la ingestión de Ca, debido principalmente a la presencia relevante de P en los huesos como fosfato de calcio.

Tabla 4. Concentraciones de fósforo y oxalato en diferentes alimentos.

Alimento	Fósforo ----- mg/100 g -----	Oxalato
Leche	93	0.5-0.9
Yogur	479	0
Quesos	79	0-0.9
Huevos	183	0.4
Hamburguesa cosida	214	0.2
Lenguado	64	
Ostras crudas	143	
Pollo rostizado	169	0.3-1.9
Hojuelas de maíz	45	5.6
Pan blanco	87	4.9
Pan integral	228	
Manzana	2	1.5
Naranja	15	6.2
Frutillas	20	1.9
Tomate	27	5.3
Repollo	26	1.0
Arvejas cosidas	66	0.8-1.3
Coliflor	56	1.0
Cebolla	33	3.0
Papa	43	23
Lechuga	21	17
Ruibarbo	8	260
Remolacha	23	122
Espinaca	51	779
Te en 100 ml de agua		
1 g en infusión de 2 min	0	46
1.5 g en infusión de 6 min	0	83
Chocolate amargo	385	124

Las recomendaciones de ingestión de P y Ca son similares en diferentes grupos poblacionales, indicando que la relación P : Ca de 1 : 1 es adecuada (Tabla 5). Sin embargo, se ha demostrado que si la ingestión de Ca es adecuada, una relación precisa entre P y Ca no es importante ya que el P ingerido generalmente es suficiente. Se ha demostrado también que un incremento en la ingestión de P en adultos de 800 a 2 000 mg/día no afecta el balance con el Ca, sin importar la ingestión de Ca que se incrementó de 200 a 2 000 mg/día. De igual manera, se ha reportado que la variación en la ingestión de P no afecta el balance general de Ca en mujeres en la menopausia.

Deficiencia de fósforo

La ingestión de P en la dieta es generalmente suficiente para satisfacer los requerimientos fisiológicos de los humanos, con excepción de los niños prematuros

Tabla 5. Recomendación diaria de ingestión de calcio y fósforo.

Categoría	Edad años	Calcio ----- mg/día -----	Fósforo
Infantes	0.0-0.5	400	300
	0.5-1.0	600	500
Niños	1-10	800	800
Adultos	11-24	1200	1200
	>25	800	800

alimentados exclusivamente con leche humana, debido a que esta leche no contiene suficiente P para satisfacer las necesidades para la mineralización de los huesos. De igual manera, la ingestión de P con la dieta generalmente no es suficiente para las personas que toman antiácidos como el hidróxido de aluminio por prolongado tiempo, debido a que el hidróxido de aluminio fija el P haciendo que este no sea disponible.

La deficiencia de P se presenta como pérdida del volumen de huesos, pero puede incluir otros síntomas como debilidad, anorexia y dolor. La hipofosfatemia crónica puede inducir raquitismo en niños y osteomalacia en adultos. Otro efecto de la deficiencia de P es una significativa reducción de la secreción de insulina por el páncreas. Esto parece deberse a un defecto en el metabolismo de la glucosa, particularmente debido al cambio de la actividad de fosfofructokinasa.

Conclusiones

La importancia del P en la nutrición humana es indudable, sin embargo, todo el P disponible en la dieta proviene de plantas y de animales que consumen esas plantas. El P es un nutriente esencial para las plantas y su efecto se observa tanto en el rendimiento como en la calidad de los alimentos consumidos por el hombre. Una buena nutrición vegetal con P asegura esta insustituible fuente de P en la dieta humana.^t