

DETERMINACION DE LOS REQUERIMIENTOS Y DE LA EFICIENCIA EN LA UTILIZACION DE ENERGIA Y PROTEINAS DE LA DIETA, DURANTE LA RECUPERACION DE LA DESNUTRICION EN RATAS: AUTOSELECCION DE ENERGIA Y PROTEINAS¹

J. Araya, M. Ruz, P. Saldaño y E. Romeo

**Departamento de Nutrición, Facultad de Medicina Santiago Norte,
Universidad de Chile, Santiago, Chile**

RESUMEN

Se sometieron a dos tipos de desnutrición, un total de 36 ratas macho cepa Wistar de 26 días de edad a través de manipulaciones de la dieta: un grupo con restricción calórica y el otro con restricción proteínica. Ambos grupos mantuvieron su peso, pero la composición corporal de los animales fue diferente. Al someterlas a realimentación dándoles a elegir entre dos dietas con distinto aporte de energía y proteínas, los dos grupos experimentales consumieron 76^o/o más de proteínas que las ratas control.

El grupo que había experimentado desnutrición a través de restricción calórica ingirió 76^o/o más energía que el control y 19^o/o más que el grupo que había experimentado desnutrición proteínica. La relación P/E autoseleccionada durante la recuperación fue significativamente mayor ($P < 0.02$) en el grupo con restricción proteínica que en el sometido a restricción calórica. Al final del período experimental de recuperación, ambos grupos desnutridos

Manuscrito modificado recibido: 16-4-79.

- 1 Este proyecto fue financiado con fondos que el Departamento de Nutrición de la Facultad de Medicina Santiago Norte, Universidad de Chile, destina para su programa de investigación.

lograron una composición corporal similar al del control. La eficiencia energética para ganar 1 g de tejido fue superior en los grupos en recuperación comparados con los controles de la misma edad.

INTRODUCCION

Existen numerosas evidencias indicativas de que los animales, en mayor grado que el hombre, pueden discriminar entre dietas bien o pobremente balanceadas. Además, parece ser que poseen gran habilidad para seleccionar una dieta adecuada cuando se les da a elegir separadamente los ítems de la misma, logrando un crecimiento óptimo.

Los animales con deficiencia de una vitamina o mineral, muestran marcada preferencia por aquella dieta que les proporciona el nutriente en déficit en su organismo, frente a otra dieta que no lo aporta (1-5).

Sin embargo, algunos autores no han logrado comprobar este hecho, obteniendo resultados no del todo categóricos al poner en juego muchas variables.

Musten, Plane y Anderson (6), han demostrado que las ratas destetadas dan muestras de gran habilidad para regular su ingesta proteínica cuando se les deja elegir entre dietas que varían sólo en su contenido de proteínas.

No disponemos de información acerca de lo que ocurre con animales desnutridos cuando se les permite elegir los nutrientes y la energía para lograr una rápida recuperación. Por otra parte, las cantidades de nutrientes y energía que en general se recomiendan para animales de experimentación y para seres humanos (7, 8) consideran específicamente que éstas están destinadas a individuos sanos, y que las cifras recomendadas en ningún caso podrán aplicarse a individuos que se recuperan de desnutrición u otra patología.

Para niños recuperados de desnutrición, se han propuesto cifras muy variables y sólo en algunos estudios se informa el tipo de tejido ganado al final de la recuperación (9-11).

Un aspecto escasamente estudiado se refiere al conocimiento del cambio experimentado en la composición corporal después del rápido crecimiento compensatorio de la recuperación.

Teniendo en mente estos hechos, se planificó la presente investigación con el objeto de obtener información a nivel experimental en ratas, cuyos resultados podrían dar pautas para recabar

datos en otras especies de mamíferos y, muy especialmente, en humanos, durante la fase de recuperación de la desnutrición.

En síntesis, los objetivos del estudio fueron:

a) Estudiar en animales experimentalmente desnutridos la cantidad de energía, proteína, la relación proteína/energía (P/E) y el NDpCal⁰/o autoseleccionados por ellos, al ofrecerles *ad libitum* dietas con distinto aporte calórico y de proteína durante la recuperación.

b) Conocer la eficiencia de la energía ingerida para obtener una ganancia de energía corporal total y la distribución de la energía ganada en la síntesis de la masa magra y del tejido adiposo.

MATERIAL Y METODOS

Se indujo desnutrición experimental en ratas macho cepa Wistar de 26 días de edad, ya fuese restringiendo la entrega de una dieta balanceada y de alto valor proteínico, o bien ofreciéndoles *ad libitum* una dieta de bajo valor proteínico. Una vez provocada la desnutrición, se recuperó a ambos grupos, permitiéndoles elegir entre dos dietas diferentes en su aporte calórico y proteínico. Se estudió simultáneamente la ganancia de peso corporal, la composición del tejido ganado y las cantidades de energía y proteínas autoseleccionadas por los grupos durante su rápido crecimiento. El cálculo de la ingesta diaria de energía y proteínas se determinó sumando la ingesta diaria de ambas dietas.

Dietas

Se prepararon cuatro dietas experimentales, cuya composición exacta se detalla en la Tabla 1.

Animales

El estudio se realizó en ratas macho cepa Wistar de 26 días de edad, cuyo peso promedio era de 49 gramos, divididas en tres grupos:

Grupo A Control: Dieciocho ratas alojadas en cuatro jaulas fueron alimentadas *ad libitum* con una dieta que contenía 20.70/o de caseína (Dieta 1), durante 23 días. A los 49 días de edad, las ratas

TABLA 1

COMPOSICION DE DIETAS EXPERIMENTALES (g/100 g DIETA)

Dieta No.	Caseína ^a	H. de C. ^b	Lípidos ^c	Vitaminas hidrosolubles ^d	Vitaminas liposolubles ^e	Minerales ^f	Alfacer	Proteína (g/100g)	Energía (Kcal/g)
1	20.75	49.25	15.0	3.0	2.0	5.0	5.0	18.4	3.9
2	0	60.0	25.0	3.0	2.0	5.0	5.0	0	4.28
3	50.0	20.0	15.0	3.0	2.0	5.0	5.0	44.3	3.9
4	4.65	55.35	25.0	3.0	2.0	5.0	5.0	4.12	4.28

a. Obtenida de Nutritional Biochemicals Corporation, Cleveland, Ohio, EUA.

b. Hidratos de carbono (en gramos): glucosa 12.5, almidón de papa 7.5, completándose con almidón de maíz el valor que aparece en la Tabla.

c. Lípidos (en gramos): aceite de maíz 5, completándose con manteca hidrogenada el valor que se muestra en la Tabla.

d. Vitaminas hidrosolubles (en gramos): cloruro de colina, 10; ácido p-aminobenzoico, 5.0; inositol, 1.0; ácido nicotínico, 0.5; pantotenato de Ca, 0.25; riboflavina, 0.25; tiamina HCl, 0.2; piridoxina HCl, 0.05; ácido fólico, 0.05; biotina, 0.01; vitamina B₁₂, 0.0005, homogenizado con 300 g de maicena.

e. Vitaminas liposolubles: retinol, 45 mg; vit. D2, 0.75 mg; alfa tocoferol, 5 g; vit. K (II), 5 mg; homogenizado con 100 g de maicena.

f. Mezcla mineral (en gramos): CaCO₃, 600; K₂HPO₄, 645; CaHPO₄·2H₂O, 150; NaCl, 335; MgSO₄·7H₂O, 204; MnSO₄, 10; Fe citrato, 20; ZnCl₂, 1.5; CuSO₄·5H₂O, 1.0; KI, 0.2; CoCl₂, 0.05; KAl(SO₄)₂, 0.1; Na₂SeO₃, 0.01; y NaF, 0.2.

alcanzaron un peso promedio de 160 g y un grupo de seis ratas (grupo inicial A) fue sacrificado por decapitación para análisis de composición corporal.

Grupo A' control: Este grupo estuvo integrado también por 18 ratas alojadas en cuatro jaulas, las que se alimentaron con una relación fija de P/E = 20^o/o desde los 26 días de edad hasta el final de la experiencia o sea a los 69 días de edad. En ellas sólo se midió su evolución ponderal, para compararla con el grupo control A que autoseleccionó la energía y proteína entre los 49 y los 69 días de edad.

Grupo B desnutrido (Restricción calórica): En este caso se alojaron otras 18 ratas en jaulas individuales, y recibieron sólo 3.5 g/día de una dieta con 50^o/o de caseína (Dieta 3), durante 23 días; al final de este período lograron mantener su peso inicial. A los 49 días de edad, seis ratas fueron sacrificadas para analizar su composición corporal (grupo inicial B).

Grupo C desnutrido (Restricción proteínica): Se utilizaron 18 ratas ubicadas en cuatro jaulas, las que fueron alimentadas *ad libitum* con una dieta que contenía 4.65^o/o de caseína (Dieta 4) durante 23 días; esta dieta les permitió mantener su peso inicial. A los 49 días de edad se sacrificaron seis ratas para análisis de composición corporal (grupo inicial C).

A las ratas que quedaron en cada grupo se les permitió elegir libremente, desde los 49 hasta los 69 días de edad (20 días) entre dos dietas: una sin proteínas (Dieta 2) que les suministraba 4.28 Cal/g, y otra con 50^o/o de caseína (Dieta 3) que les proporcionó 3.90 Cal/g.

Durante el período de autoselección, los animales se mantuvieron en jaulas especialmente diseñadas para los propósitos del estudio.² Todos los animales tuvieron libre acceso al agua de be-

2 Se utilizaron dos jaulas de malla metálica intercomunicadas entre sí por un túnel para permitir a la rata el fácil acceso de una jaula a otra. En una de ellas se colocó la Dieta 2 (sin proteínas) y en la otra la Dieta 3 (con 50^o/o de caseína). Debajo de cada una de las jaulas, se colocó una bandeja para recoger excretas y dieta derramada, las que fueron cuidadosamente separadas al final de cada período de balance.

bida. La humedad del vivero era de 75^o/o y la temperatura de 25^oC.

Se midió sistemáticamente cada 5 días la ingesta de las dietas ofrecidas durante la fase de autoselección. Las excretas recogidas cada 5 días fueron pesadas y analizadas para determinar su contenido de nitrógeno y energía; los valores obtenidos se descontaron de la ingesta individual. Todos los datos fueron registrados en hojas de balance. También se determinó la evolución ponderal de cada una de las ratas participantes en el estudio, pesándolas cada 5 días.

Durante el curso de la investigación se sacrificaron ratas de los tres grupos en dos oportunidades: a los 49 días de edad, antes de la autoselección, y a los 69 días de edad, después de la autoselección. En ellas se determinó, en sangre, hemoglobina (12) y hematocrito (13). Del carcás se separó el estómago y el intestino, los que fueron lavados y reintegrados al carcás, determinándose en éste, grasa, nitrógeno y humedad, según los métodos recomendados por la AOAC (14).

El análisis corporal practicado en ratas de los tres grupos antes de iniciar la autoselección (49 días de edad), nos permitió obtener correlaciones entre el contenido de N, el carcás seco sin grasa, la grasa y el peso corporal. Las ecuaciones de las rectas obtenidas con los datos experimentales que figuran en la Tabla 2, fueron aplicadas al peso inicial de las ratas de 49 días sometidas a recuperación, las cuales autoseleccionaron su dieta. Al final de la autoselección (69 días de edad) todos los animales fueron sacrificados por decapitación, determinándose el contenido de nitrógeno, grasa, agua y energía. A los datos obtenidos se les restó la composición corporal inicial calculada, usando las ecuaciones de la Tabla 2. De esta manera se determinó la magnitud del cambio experimentado en la grasa, masa magra y nitrógeno corporal. Los valores energéticos de la grasa aislada del carcás y del carcás libre de grasa, fueron determinados en la bomba calorimétrica, siendo de 9.36 para grasa y 4.25 para el carcás seco libre de grasa.

RESULTADOS

La Figura 1 muestra la evolución ponderal de las ratas desnutridas y durante la fase de realimentación, así como de los animales control. Según se observa, las ratas sometidas a desnutrición tanto por restricción de calorías (grupo B), como por restricción de proteínas (grupo C), prácticamente mantuvieron su peso inicial.

TABLA 2

ECUACION DE LAS RECTAS OBTENIDAS AL CORRELACIONAR CONTENIDO DE GRASA Y NITROGENO CORPORAL VS PESO CORPORAL EN RATAS DE 49 DÍAS, ANTES DE INICIAR LA AUTOSELECCION

Grupo	Grasa corporal vs peso	Nitrógeno corporal vs peso	Carcás seco libre de grasa
Control (Grupo A)	$y = -9.05 + 0.127 x$	$y = -0.73 + 0.032 x$	$y = 0.62 + 0.231 x$
Desnutridas (Grupo B)*	$y = -0.62 + 0.040 x$	$y = 0.56 + 0.020 x$	$y = -0.59 + 0.261 x$
Desnutridas (Grupo C)**	$y = -3.46 + 0.156 x$	$y = 0.49 + 0.017 x$	$y = 1.25 + 0.217 x$

* Desnutridas durante 20 días por restricción de dietas con un NDpCal⁰/o de 12.

** Desnutridas durante 20 días por alimentación *ad libitum* con una dieta con un NDpCal⁰/o de 4.

x = Peso en gramos.

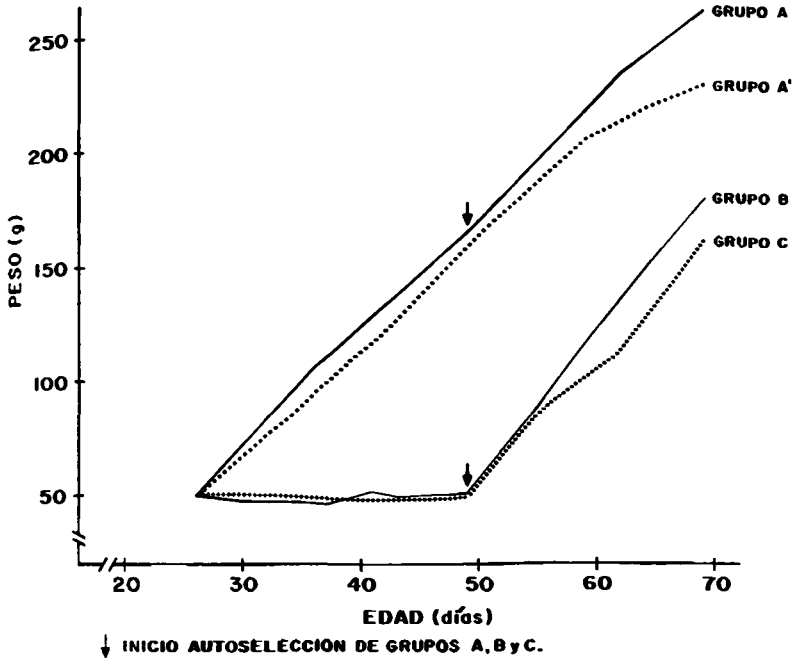


FIGURA 1

Evolución ponderal de las ratas

- A = Control: alimentadas *ad libitum* desde los 26 a los 49 días de edad con una dieta con 20.7% de caseína; autoseleccionaron la ingesta de energía y proteína de la dieta desde los 49 hasta los 69 días de edad.
- A' = Control: alimentadas desde los 26 a los 69 días de edad con una relación fija P/E (20%).
- B = Desnutridas por restricción de la ingesta de energía entre los 26 y los 49 días de edad; autoseleccionaron la ingesta de energía y proteína de la dieta desde los 49 hasta los 69 días de edad.
- C = Desnutridas por alimentación *ad libitum* con una dieta de caseína con $NDpCa^{10}/o = 4$ entre los 26 y 49 días de edad; autoseleccionaron la ingesta de energía y proteína de la dieta desde los 49 hasta los 69 días de edad.

Cuando se les permitió elegir la ingesta de energía y de proteínas, pudo apreciarse una rápida velocidad de crecimiento, mayor que la observada en las ratas control durante esa etapa de su vida, las que también autoseleccionaron su dieta. Durante la realimentación, el grupo que se recuperaba de restricción calórica (grupo B) consumió más calorías y ganó más peso que el grupo C desnutrido por restricción proteínica. A pesar de la rápida velocidad de crecimiento de los grupos en recuperación, éstos no lograron alcanzar el peso de las ratas control a la misma edad. El grupo desnutrido B inició su recuperación con 51.1 g y al final de la autoselección pesó 179.9 g (una ganancia de 6.40 g/día); el grupo desnutrido C, que inició su recuperación con 49.6 g, alcanzó un peso de 162 g a los 20 días de realimentación (ganancia de 5.60 g/día). El grupo control A inició su autoselección con 165 g y llegó a un peso de 260.5 g (ganancia de 4.75 g/día). En el grupo control (A') que consumió una dieta en que la relación P/E era fija (20^o/o), se observó un menor crecimiento que en el que autoseleccionó las proteínas y la energía, consumiendo cantidades ligeramente superiores de energía que el grupo A.

La composición corporal de las ratas desnutridas antes de iniciar su recuperación se da a conocer en la Tabla 3. Para comparar los grupos se han expresado los valores por 100 g de rata. Puede observarse que la composición corporal del grupo desnutrido C es comparable con la composición corporal de las ratas control; esto sugiere una adaptación durante este tipo de desnutrición. En cambio, el contenido de nitrógeno y de agua del grupo B que también mantuvo su peso, fue significativamente superior ($P < 0.02$ para N y $P < 0.001$ para H₂O) y el contenido de grasa, significativamente inferior ($P \ll 0.001$) respecto al grupo C.

La Tabla 4 informa de la cantidad de energía ingerida, la ganancia de energía corporal total y el porcentaje de energía utilizado para síntesis de masa magra y tejido adiposo, expresado por unidad metabólica. En los dos grupos en recuperación, la ingesta de calorías fue significativamente mayor que la de las ratas control. En este último grupo el 35^o/o de la energía absorbida fue utilizada para crecimiento. En los grupos en recuperación, la energía utilizada para crecimiento fue porcentualmente mayor: 62^o/o para el grupo B y 50^o/o para el grupo C. De esta manera, quedan disponibles para mantenimiento del grupo control 101 Kcal/kg^{0.73}/día; para el grupo B, 84.7 Kcal/kg^{0.73}/día, y para el grupo C, 98.3 Kcal/kg^{0.73}/día. De estos resultados se puede deducir, pues, que la energía para mantenimiento durante la recuperación de la desnutrición fue menor que en el grupo control

TABLA 3
COMPOSICION CORPORAL DE RATAS SOMETIDAS A DESNUTRICION EXPERIMENTAL
COMPARADAS CON CONTROLES

Grupo	Edad (días)	Peso (g)	N (g/100 g rata)	Grasa (g/100 g rata)	Humedad (g/100 g rata)
Control (Grupo A) n = 8	49	165 ± 6.7	2.96 ± 0.1	8.96 ± 0.7	67.4 ± 0.5
Desnutrido (Grupo B) n = 6	49	51.1 ± 2.7	• 3.32 ± 0.1	• 3.10 ± 0.3	• 71.3 ± 0.5
Desnutrido (Grupo C) n = 6	49	49.6 ± 2.4	• 2.80 ± 0.1	• 8.10 ± 0.8	• 67.4 ± 0.8
			• P < 0.02	• P << 0.001	• P < 0.001

Grupo A = Alimentado con caseína al 20.7^o/o.

Grupo B = Alimentado con dieta restringida de caseína con un NDpCal^o/o de 12.

Grupo C = Alimentado *ad libitum* con dieta de caseína con un NDpCal^o/o de 4.

TABLA 3
COMPOSICION CORPORAL DE RATAS SOMETIDAS A DESNUTRICION EXPERIMENTAL
COMPARADAS CON CONTROLES

Grupo	Edad (días)	Peso (g)	N (g/100 g rata)	Grasa (g/100 g rata)	Humedad (g/100 g rata)
Control (Grupo A) n = 8	49	165 ± 6.7	2.96 ± 0.1	8.96 ± 0.7	67.4 ± 0.5
Desnutrido (Grupo B) n = 6	49	51.1 ± 2.7	• 3.32 ± 0.1	• 3.10 ± 0.3	• 71.3 ± 0.5
Desnutrido (Grupo C) n = 6	49	49.6 ± 2.4	• 2.80 ± 0.1	• 8.10 ± 0.8	• 67.4 ± 0.8
			• P < 0.02	• P << 0.001	• P < 0.001

Grupo A = Alimentado con caseína al 20.70/o.

Grupo B = Alimentado con dieta restringida de caseína con un NDpCal⁰/o de 12.

Grupo C = Alimentado *ad libitum* con dieta de caseína con un NDpCal⁰/o de 4.

TABLA 4
RELACION ENTRE INGESTA DE ENERGIA Y GANANCIA DE ENERGIA EN MASA MAGRA Y
TEJIDO ADIPOSO (Kcal/kg^{0.73}/día) DURANTE LA FASE DE RECUPERACION DE LA DESNUTRICION
Y EN LAS RATAS CONTROL

Grupo	Ingesta (Kcal/kg ^{0.73} / día)	Ganancia de energía corporal total		Ganancia de energía en tejido adiposo ^b		Ganancia de energía en masa magra ^c	
		(Kcal/kg ^{0.73} / día)	% de la eficiencia ^a	(Kcal/kg ^{0.73} / día)	% de la ga- nancia total	(Kcal/kg ^{0.73} / día)	% de la ga- nancia total
Control (Grupo A)	▲● 156 ± 5.31	55.1 ± 5.69	35	34.8 ± 4.64	63	20.2 ± 7.02	37
Recuperación desnutridas (Grupo B)*	● 222 ± 3.73	137.3 ± 4.98	62	86.7 ± 5.72	63	50.5 ± 1.69	37
Recuperación desnutridas (Grupo C)**	▲ 194 ± 7.89	96.4 ± 4.64	50	53.4 ± 3.22	55	42.9 ± 2.0	45
▲● P << 0.001							

a Eficiencia de la energía metabolizable disponible para ganancia de energía corporal total.

b Calculado al multiplicar 1 g de grasa x 9.36.

c Calculado al multiplicar 1 g de masa magra x 4.45.

* Recuperación del grupo desnutrido previamente alimentado con dieta restringida con un NDpCal⁰/o de 12.

** Recuperación del grupo desnutrido previamente alimentado *ad libitum* con dieta con un NDpCal⁰/o de 4.

Cuando se les permitió elegir la ingesta de energía y de proteínas, pudo apreciarse una rápida velocidad de crecimiento, mayor que la observada en las ratas control durante esa etapa de su vida, las que también autoseleccionaron su dieta. Durante la realimentación, el grupo que se recuperaba de restricción calórica (grupo B) consumió más calorías y ganó más peso que el grupo C desnutrido por restricción proteínica. A pesar de la rápida velocidad de crecimiento de los grupos en recuperación, éstos no lograron alcanzar el peso de las ratas control a la misma edad. El grupo desnutrido B inició su recuperación con 51.1 g y al final de la autoselección pesó 179.9 g (una ganancia de 6.40 g/día); el grupo desnutrido C, que inició su recuperación con 49.6 g, alcanzó un peso de 162 g a los 20 días de realimentación (ganancia de 5.60 g/día). El grupo control A inició su autoselección con 165 g y llegó a un peso de 260.5 g (ganancia de 4.75 g/día). En el grupo control (A') que consumió una dieta en que la relación P/E era fija (20^o/o), se observó un menor crecimiento que en el que autoseleccionó las proteínas y la energía, consumiendo cantidades ligeramente superiores de energía que el grupo A.

La composición corporal de las ratas desnutridas antes de iniciar su recuperación se da a conocer en la Tabla 3. Para comparar los grupos se han expresado los valores por 100 g de rata. Puede observarse que la composición corporal del grupo desnutrido C es comparable con la composición corporal de las ratas control; esto sugiere una adaptación durante este tipo de desnutrición. En cambio, el contenido de nitrógeno y de agua del grupo B que también mantuvo su peso, fue significativamente superior ($P < 0.02$ para N y $P < 0.001$ para H₂O) y el contenido de grasa, significativamente inferior ($P \ll 0.001$) respecto al grupo C.

La Tabla 4 informa de la cantidad de energía ingerida, la ganancia de energía corporal total y el porcentaje de energía utilizado para síntesis de masa magra y tejido adiposo, expresado por unidad metabólica. En los dos grupos en recuperación, la ingesta de calorías fue significativamente mayor que la de las ratas control. En este último grupo el 35^o/o de la energía absorbida fue utilizada para crecimiento. En los grupos en recuperación, la energía utilizada para crecimiento fue porcentualmente mayor: 62^o/o para el grupo B y 50^o/o para el grupo C. De esta manera, quedan disponibles para mantenimiento del grupo control 101 Kcal/kg^{0.73}/día; para el grupo B, 84.7 Kcal/kg^{0.73}/día, y para el grupo C, 98.3 Kcal/kg^{0.73}/día. De estos resultados se puede deducir, pues, que la energía para mantenimiento durante la recuperación de la desnutrición fue menor que en el grupo control

y diferente entre los dos tipos de desnutrición. Al determinar la energía utilizada en la síntesis de masa magra como porcentaje del total de la energía ganada, se nota que en el grupo B la eficiencia fue similar a la del control; en cambio, el grupo C derivó un porcentaje mayor que los otros dos grupos para ganancia de tejido magro.

La ingesta de energía y proteína seleccionadas por los grupos, la relación calorías proteínicas/calorías totales, el NDpCal⁰/o consumido y la ganancia de peso, expresados por 100 g de rata, se presentan en la Tabla 5. La ingesta energética del grupo B en recuperación fue 76⁰/o y la del grupo C en recuperación 57⁰/o mayor que la observada en los animales control. La ganancia de peso se correlacionó directamente con la ingesta energética. La ingesta de proteínas por 100 g de rata fue similar en los grupos de recuperación y, en ambos, significativamente superior a la del control ($P \ll 0.001$). Al expresar la ingesta de proteínas como una proporción de las calorías totales seleccionadas, se puede observar que los dos grupos desnutridos eligieron una relación proteína/energía (P/E) significativamente distinta ($P < 0.02$). La ingesta calórica tuvo relación más directa con la ganancia de peso. El NDpCal⁰/o seleccionado fue similar para los grupos C y A y ligeramente superior para el grupo B.

La ganancia de masa magra y tejido adiposo en gramos por unidad metabólica en los dos grupos en recuperación y en los animales control, se da a conocer en la Tabla 6. Si comparamos la ganancia de masa magra de los grupos B y C durante la fase de realimentación, vemos que porcentualmente el grupo C ganó más masa magra que el B, pero este último, que consumió más proteínas y energía en forma absoluta, ganó más masa magra y más tejido adiposo que el C.

En la Tabla 6 se muestra además el costo energético para ganar 1 g de peso en cada uno de los grupos. Este valor fue de 3.86 Kcal para el control; 2.75 Kcal para el grupo B, y 2.31 Kcal para el grupo C por cada gramo de tejido ganado.

Los niveles de hemoglobina y hematocrito en las ratas desnutridas, en recuperación y en los controles aparecen en la Tabla 7. Llama la atención el hecho de que el grupo desnutrido, restringido en calorías, exhibe valores de hematocrito y hemoglobina superiores incluso a los del grupo control, y que estos niveles disminuyen dramáticamente durante la realimentación, haciéndose significativamente menores que los controles. El grupo C muestra niveles disminuidos en estos dos parámetros durante la

TABLA 5

INGESTA DIARIA DE ENERGIA (Kcal/100 g DE RATA), PROTEINAS (g/100 g DE RATA), NDpCal^o/o, RELACION P/E Y GANANCIA DE PESO (g/100 g DE RATA/DIA) DURANTE LA RECUPERACION DE LA DESNUTRICION Y EN LAS RATAS CONTROL

Grupo	Edad (días)		Ingesta promedio diaria				Ganancia de peso (g/100 g de rata/ día)
	Inicial	Final	Energía (Kcal/100 g de rata)	Proteínas (g/100 g de rata)	NDpCal ^o /o ^a	P/E (o/o) ^b	
Control (Grupo A)	49	69	23.5 ± 0.72	*● 2.1 ± 0.13	11.4 ± 1.39	36.6 ± 3.53	2.85 ± 0.37
Recuperación (Grupo B)●	49	69	● 41.4 ± 3.33	* 3.6 ± 0.14	12.4 ± 0.38	● 32.8 ± 2.33	9.67 ± 3.00
Recuperación (Grupo.C)●●	49	69	● 36.9 ± 1.62	● 3.7 ± 0.72	11.4 ± 0.64	● 38.5 ± 3.97	8.63 ± 1.60
			● P < 0.20	* ● P << 0.001		● P < 0.02	

a Calculado al multiplicar P^o/o x UPN aparente.

b Relación calorías proteínicas/calorías totales.

- Recuperación del grupo desnutrido previamente alimentado con dieta restringida con un NDpCal^o/o de 12.
- Recuperación del grupo desnutrido previamente alimentado *ad libitum* con dieta con un NDpCal^o/o de 4.

TABLA 6

RELACION ENTRE INGESTA DE ENERGIA (Kcal/kg^{0.73}/DIA, GANANCIA DE MASA MAGRA Y TEJIDO ADIPOSO (g/kg^{0.73}/DIA), DURANTE LA RECUPERACION Y EN LAS RATAS CONTROL

Grupo	Edad (días)	Ingesta (Kcal/kg ^{0.73} / día)	Ganancia de peso (g/kg ^{0.73} / día)	Ganancia de masa magra (g/kg ^{0.73} / día)	%	Ganancia de tejido adiposo (g/kg ^{0.73} / día)	%	Gasto energético del crecimiento [●] (Kcal/g de peso ganado)
Control (Grupo A)	69	156 ± 5.31	14.26	11.42	80	2.84	20	3.86
Recuperación desnutr. (Grupo B) ^a	69	222 ± 3.73	49.91	42.12	84	7.79	16	2.75
Recuperación desnutr. (Grupo C) ^b	69	194 ± 7.89	41.58	36.38	87	5.20	13	2.31

^a Con desnutrición previa por restricción de dieta con un NDpCal⁰/o de 12.

^b Con desnutrición previa por alimentación *ad libitum* con dieta con un NDpCal⁰/o de 4.

● A la ingesta energética metabolizable total (C) se le resta la energía de mantención (CM); la energía disponible para crecimiento (Kcal/kg^{0.73}/día) se divide por la ganancia de peso (en g/kg^{0.73}/día) = $\frac{C - CM}{\Delta \text{Peso}}$

TABLA 7

**NIVELES DE HEMOGLOBINA Y HEMATOCRITO EN RATAS
DESNUTRIDAS, DURANTE LA RECUPERACION Y EN
LAS CONTROLES**

Grupo	Edad (días)	Hemoglobina (g/100 ml)	Hematocrito (°/o)
Control (Grupo A)	49	* 14.25 ± 0.78	** 46.71 ± 0.89
Desnutrición ● (Grupo B)	49	* 18.13 ± 0.24	● 49.55 ± 0.45
Desnutrición ●● (Grupo C)	49	* 13.73 ± 0.27	** 41.30 ± 0.56
		* P < 0.001	** P < 0.001 ● P < 0.01
Control (Grupo A)	69	● 16.10 ± 0.47	● 48.05 ± 0.5
Recuperación (Grupo B)	69	● 13.63 ± 0.31	● 41.8 ± 0.59
Recuperación (Grupo C)	69	13.34 ± 0.21	41.5 ± 0.73
		● P < 0.001	● P < 0.001

- Desnutridos a través de restricción de dieta con un NDpCal^o/o de 12.
- Desnutridos con dieta *ad libitum* con un NDpCal^o/o de 4.

desnutrición, los que se mantuvieron reducidos durante la recuperación.

DISCUSION

Los experimentos descritos han demostrado que la desnutrición inducida en ratas por restricción de la ingesta de una dieta con un NDpCal^o/o de 12, o por alimentación *ad libitum* con una

dieta con un NDpCal⁰/o de 4, lograron mantener sólo el peso con un rango de ± 1 gramo. Se observó un cambio en el contenido energético del carcás del grupo con restricción calórica, el que experimentó una disminución del tejido adiposo en beneficio de una mayor acumulación de N y masa magra. El otro grupo que mantuvo su peso al alimentarse con caseína y un NDpCal⁰/o de 4 (grupo con restricción proteínica) conservó inalterada su composición corporal inicial.

Miller y Payne (15) lograron mantener el peso de cerdos y ratas alimentándolos con distintos regímenes de dieta con amplias variaciones de ingesta calórica, en las que la variable fue el NDpCal⁰/o. Dichos autores asumen que una alta ingesta proteínica con restricción calórica, usa la proteína con propósitos energéticos, y que una alta ingesta calórica con bajo NDpCal⁰/o estimula la pérdida de la energía ingerida en forma de calor, lo que explicaría la mantención del peso corporal. En su estudio no observaron cambios en la composición corporal ni en la digestibilidad, ni en la pérdida de energía por la orina.

En el caso de nuestra investigación, se podría postular que el cambio en composición corporal observado en el grupo con restricción calórica B vs el mantenimiento de la misma en el grupo con restricción proteínica C, es atribuible a la puesta en juego de mecanismos endocrinos diferentes que permitieron, en el primer caso, lipólisis en beneficio de síntesis proteínica probablemente debido a una mayor liberación de hormona del crecimiento. En efecto, la liberación de esta hormona puede haber sido estimulada por la presencia de altas concentraciones de aminoácidos circulantes, aportados por la dieta con 50⁰/o de caseína, así como por la sensación de hambre supuestamente atribuible a bajos niveles de insulina en este grupo de animales en semi-ayuno.

En cuanto al grupo desnutrido que mantuvo su composición corporal (restricción proteínica, grupo C), éste ajustó su velocidad metabólica a un ritmo que le permitió mantener inalterado su contenido de grasa y masa magra inicial, probablemente a causa de una disminución en la actividad de enzimas involucradas en el metabolismo proteínico y energético.

Dado que los dos grupos de ratas desnutridas iniciaron su recuperación con distinta composición corporal uno del otro, sería razonable pensar que la magnitud de los requerimientos fue cuantitativamente diferente.

Para poder conocer los requerimientos adicionales debidos

al rápido crecimiento durante la etapa de recuperación, se usaron ratas control de la misma edad, a las que se les permitió también elegir la energía y proteína de su dieta para lograr un óptimo crecimiento. Se asumió que las cantidades elegidas por este grupo lograron cubrir sus requerimientos. Estas ratas mostraron que una ingesta de 23.5 Kcal y de 2.11 g de proteína por 100 g de rata, una relación P/E de 36.6%, y un NDpCal% de 11, les permitió ganar 2.85 g/100 g de rata/día. Esta cifra es muy superior a la observada en ratas control hermanas de las anteriores, las que mostraron una menor velocidad de crecimiento (grupo A') consumiendo más Kcal/100 g de rata, pero con una relación P/E fija de 20% (Figura 1).

Musten y col. (6) informan haber observado en dos grupos de ratas control, que las que seleccionaron su P/E crecieron más rápido que aquellas en que la relación P/E se entregó con una relación fija; la relación seleccionada por las que obtuvieron óptimo crecimiento, fue de 34.6% con una variación entre 32 y 36%.

Tomando las cifras de energía y proteínas elegidas por las ratas control del presente estudio como suficientes para cubrir los requerimientos, es factible determinar las cantidades adicionales elegidas por las ratas que estaban recuperándose de la desnutrición. La cantidad de energía adicional ingerida por el grupo en recuperación de desnutrición calórica (grupo B) fue 76% mayor que en el grupo control y 19% mayor que en el otro grupo desnutrido que se recuperaba de desnutrición proteínica (grupo C). La cantidad adicional de proteínas consumidas por los dos grupos en recuperación fue, en ambos casos, 76% mayor que en el grupo control.

Al calcular la relación P/E seleccionada por los dos grupos en recuperación, se observó que el grupo que había experimentado previamente restricción proteínica (grupo C), autoseleccionó una P/E significativamente superior que el grupo B ($P < 0.02$).

El destino de la energía de la dieta fue distinto en los dos grupos en recuperación, ya que aquél que se recuperaba de restricción calórica dedicó un mayor porcentaje de la energía disponible para crecimiento para ganancia de tejido adiposo, mientras que el otro grupo que se recuperaba de restricción proteínica destinó un mayor porcentaje a masa magra. De todas maneras, la eficiencia de la energía metabolizable destinada a ganancia de energía corporal en ambos grupos fue superior con respecto al control. A pesar de que un grupo utilizó la energía

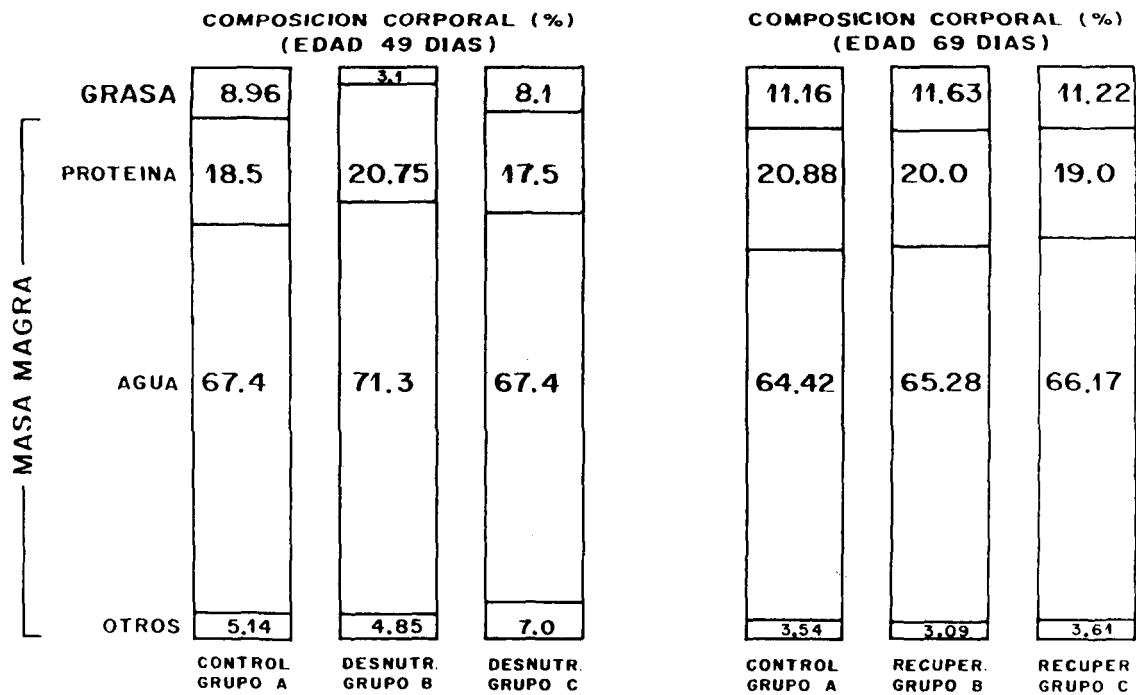


FIGURA 2

Contenido de grasa, proteína y agua corporal de ratas control y desnutridas, antes y después de autoseleccionar su energía y proteína de la dieta.

porcentualmente más para síntesis de grasa y el otro más para síntesis de masa magra, los dos grupos en recuperación lograron igualar la composición corporal del control después de 20 días de autoselección, como se observa en la Figura 2.

La diferencia entre la ingesta de energía y la ganancia de energía corporal por unidad metabólica permitió determinar la energía de mantenimiento en cada grupo. Al hacer el cálculo se encontró que en ambos grupos en recuperación la energía de mantenimiento fue inferior que en el control (84.8 y 98.3 vs 101 Kcal/kg^{0.73}/día). Sería razonable pensar que en estos grupos la disponibilidad de energía para ganancia de peso por unidad metabólica hubiese sido superior.

La energía residual, o sea la disponible para ganancia de peso, da un promedio de 3.86 Kcal/g de peso ganado para los animales control y de 2.75 Kcal/g y 2.31 Kcal/g para los grupos B y C, respectivamente.

Spady *et al.* (16) al calcular el costo energético para ganancia de peso en niños en recuperación de desnutrición, obtuvieron valores promedio de 3.3 Kcal/g de peso, considerando que al valor de 3.3 Kcal debería sumársele 1.1 Kcal por el costo energético (oxidación de nutrientes endógenos) de síntesis. Los límites de los valores encontrados por estos autores fueron de 1.2 a 5.7 Kcal por gramo de peso ganado.

Resulta difícil explicar, con los datos obtenidos en nuestro experimento, la alta eficiencia de la energía ingerida para ganancia de peso durante la recuperación de las ratas.

Por su parte, Ashworth *et al.* (9), encuentran cifras energéticas muy superiores para ganar 1 g de tejido en niños en vías de recuperación, en comparación con niños sanos. Sin embargo, Ashworth (17) ha demostrado que durante la recuperación de niños desnutridos cuando el tejido corporal está siendo rápidamente formado y degradado, la clásica teoría de la acción dinámica específica no sería aplicable, disponiendo de esta energía, que ordinariamente se pierde como calor, para propósitos de crecimiento durante la recuperación. Argumenta, además, que el crecimiento no es continuo a lo largo del día sino más bien repentino, siendo más significativo después de las comidas.

Este hecho explicaría la alta eficiencia de utilización de la energía de la dieta para ganancia de peso que observamos en nuestro estudio, ya que durante la recuperación, la energía que habitualmente se disipa como calor, se estaría utilizando para síntesis tisular.

SUMMARY

**DETERMINATION OF THE REQUIREMENTS AND EFFICIENCY
OF UTILIZATION OF DIETARY ENERGY AND PROTEINS
DURING RECOVERY FROM MALNUTRITION IN RATS:
SELF-SELECTION OF ENERGY AND PROTEINS**

Thirty-six Wistar male rats, 26 days old, were divided into two groups and submitted to two different types of experimental malnutrition, using different dietary treatments. The animals in one group were fed restricted amounts of a casein diet containing 44.3% of protein. The other group was fed *ad libitum* a low-protein diet. Both groups maintained their weight, but their body composition differed. When both groups were recovering from malnutrition, all rats were allowed to self-select their own energy and protein intake from two different kinds of diets, which varied in regard to protein content and energy supply. Both groups consumed 76% more protein than the control; the group which experienced caloric restriction presented 76% more energy intake than the control and 19% more in relation to the group which underwent protein restriction.

The self-selected diet during recovery from malnutrition produced a significantly higher P/E ratio ($P < 0.02$) in the group with restricted protein intake than the group with restricted caloric supply. Towards the end of the recovery period both groups acquired a similar body composition with respect to the control rats. The efficiency of energy utilization for gaining 1 g of body tissue was higher among the undernourished recovering groups of rats when compared with the controls of the same age.

BIBLIOGRAFIA

1. Osborne, T.B. & L.B. Mendel. The choice between adequate and inadequate diets as made by rats. *J. Biol. Chem.*, 35:19-26, 1918.
2. Ritcher, C.P., L.E. Holt & B. Barelare. Nutritional requirements for normal growth and reproduction in rats studied by the self selection method. *Am. J. Physiol.*, 122:734-744, 1938.
3. Diet preferences and specificity of hungers in rats fed diets deficient in various vitamins and minerals. *Nutr. Revs.*, 26:25-28, 1968.
4. Lepkovsky, S. The physiological basis of voluntary food intake. En: *Advances in Food Research*, Vol. I. E.M. Mrak and C.F. Stewart (Eds.). New York, Academic Press Inc., Publishers, 1948, p. 105-141.
5. Harriman, A.E. Self-selection of diets by Southern Plains wood rats. *J. Gen. Psychol.*, 90:53-61, 1974.

6. Musten, B., D. Plane & G. H. Anderson. Food intake regulation in the weanling rat. Self-selection of protein and energy. *J. Nutr.*, **104**: 563-572, 1974.
7. **Necesidades de Energía y de Proteínas.** Informe de un Comité Especial Mixto FAO/OMS de Expertos, Roma, 22 de marzo - 2 de abril de 1971. Ginebra, Organización Mundial de la Salud, 1973, 138 p. (Serie de Informes Técnicos de la OMS No. 522; FAO: Reuniones sobre Nutrición No. 52).
8. **Recommended Dietary Allowances.** 8th ed. Washington, D. C., National Academy of Sciences-National Research Council, 1973.
9. Ashworth, A., R. Bell, W. P. T. James & J. C. Waterlow. Calorie requirements of children recovering from protein-calorie malnutrition. *Lancet*, **2**: 600-603, 1968.
10. Ashworth, A. Growth rates in children recovering from protein-calorie malnutrition. *Brit. J. Nutr.*, **23**: 835-845, 1969.
11. Waterlow, J. C. The rate of recovery of malnourished infants in relation to the protein and calorie levels of diets. *J. Trop. Pediat.*, **7**: 16-22, 1961.
12. Canaan, R. K. Hemoglobin standard. *Science*, **127**: 1376-1378, 1958.
13. Wintrobe, M. M. Macroscopic examination of the blood. *Am. J. Med. Sci.*, **185**: 58-71, 1933.
14. Association of Official Agricultural Chemists. **Official Methods of Analysis of the AOAC.** 11th ed. Washington, D. C., The Association, 1970.
15. Miller, D. S. & P. R. Payne. Weight maintenance and food intake. *J. Nutr.*, **78**: 255-262, 1962.
16. Spady, D. W., P. R. Payne, D. Picou & J. C. Waterlow. Energy balance during recovery from malnutrition. *Am. J. Clin. Nutr.*, **29**: 1073-1088, 1976.
17. Ashworth, A. Metabolic rates during recovery from protein-calorie malnutrition: the need for a new concept of specific dynamic action. *Nature*, **223**: 407-409, 1969.