

Evolución del cociente respiratorio en esfuerzos prolongados tras la administración de triglicéridos de cadena media

J.A. López Calbet¹, J.R. Barbany², M.R. Gutiérrez³, C. Fiol³, J.M Nolla¹

(1) Servicio de Reumatología. Hospital de Bellvitge Principes de España.

(2) Departamento de Ciencias Médicas. INEFC, Barcelona.

(3) Servicio de Bioquímica. Hospital de Bellvitge Principes de España.

RESUMEN

Se han estudiado los efectos metabólicos y ventilatorios producidos por la administración de triglicéridos de cadena media (MCT), 10 minutos antes de la realización de pruebas de esfuerzo prolongadas de carga constante. Fueron objeto de estudio 5 deportistas de nivel medio, en buen estado de salud. Inicialmente, cada individuo efectuó una prueba de esfuerzo máxima conforme al protocolo de Wasserman, obteniéndose: VO_2 máx. 51.4 ± 5.9 ml/kg/min; Potencia máxima = 285 ± 13.7 watts; Frecuencia cardíaca máxima = 185.4 ± 10 lat/min; Consumo de oxígeno en el umbral anaeróbico = 33.4 ± 3.3 ml/kg/min; y Potencia desarrollada en el umbral anaeróbico = 200 ± 0 watts. (Valores expresados como $x \pm SD$).

Una semana después se practicó una prueba de esfuerzo prolongado consistente en pedalear durante 60 minutos, con una frecuencia de 65 rpm, y con una carga de 140 watts, equivalente al 75% de la potencia desarrollada en el umbral anaeróbico. Dicho esfuerzo se repitió tras 7 días en las mismas condiciones. A cada individuo se le administraron, de forma randomizada, 40 ml de MCT 10 minutos antes de una de las 2 pruebas prolongadas. El análisis estadístico se efectuó mediante la prueba t de Student para datos apareados, estableciéndose el nivel de significación en $p < 0,05$.

RESUM

S'han estudiat els efectes metabòlics i ventilatoris produïts per l'administració de triglicèrids de cadena mitjana (MCT) deu minuts abans de la realització de proves d'esforç perllongades de càrrega constant. Van ser objecte d'estudi cinc esportistes de nivell mitjà, en bon estat de salut. Inicialment, cada individu va efectuar una prova d'esforç màxim, d'acord amb el protocol de Wassermann, i s'hi van obtenir els resultats següents:

VO_2 máx. 51.4 ± 5.9 ml/kg/min; Potència máxima = 285 ± 13.7 watts; Freqüència cardíaca máxima = 185.4 ± 10 lat/min; Consum d'oxigen en el llindar anaeròbic = 33.4 ± 3.3 ml/kg/min; y Potència desenvolupada en el llindar anaeròbic = 200 ± 0 watts. (Valors expressats com $x \pm SD$).

Una setmana més tard es practica una prova d'esforç perllongat que consistia a pedalear durant seixanta minuts, amb una freqüència de 65 rpm i una càrrega de 140 vats, que equival al 75% de la potència desenvolupada en el llindar anaeròbic. Aquest esforç va ser repetit set dies després en les mateixes condicions. A cada individu li fou administrat, de forma randomitzada, 40 ml de MCT deu minuts abans d'una de les dues proves perllongades. L'anàlisi estadística es va efectuar mitjançant la prova t de Student per a dades aparellades i s'hi va establir el nivell de significació en $p < 0,05$.

SUMMARY

The metabolic and respiratory effects of the administration of medium-chain triglycerides (MCT) were studied ten minutes before prolonged constant effort exercises were to be carried out. The study was centred on five average standard sportmen, all of whom were in good health. Initially, each athlete carried out a maximal effort test, according to the Wasserman protocol, with the following results: VO_2 máx. 51.4 ± 5.9 ml/kg/min; Maximum power = 285 ± 13.7 watts; Maximal cardiac Frequency = 185.4 ± 10 beats/min; Oxygen intake within the anaerobic treshold = 33.4 ± 3.3 ml/kg/min; and power produced within the anaerobic treshold = 200 ± 0 Watts. (Values expressed as $x \pm SD$).

A prolonged effort test was practised a week later involving 60 minutes of pedalling at a frequency of 65 RPM and with a charge of 140 Watts, wich was equivalent to 75% of the power development within the anaerobic treshold. This effort was repeated 7 days later under the same conditions. Forty ml of MCT were admi-

nistered to each individual in a randomized fashion 10 minutes before the 2 prolonged tests. The statistical analysis was carried out by means of the Student t test for paired off data items, and the level of significance was established at $p < 0.05$.

Numerosos estudios sugieren que la deplección muscular de glucógeno y el desarrollo de hipoglucemia durante esfuerzos prolongados de mediana intensidad (del 60 al 80% de VO_2 máx.), constituyen los factores mayormente implicados en la aparición de la fatiga.^{1, 2, 3, 4} Además, se ha logrado un aumento de la resistencia incrementando las reservas musculares y hepáticas de glucógeno, mientras que su disminución se ha seguido de una mayor fatigabilidad.^{5, 6, 7, 8, 9, 10, 11}

Por otra parte, se ha hallado que un aumento de la disponibilidad de ácidos grasos libres circulantes (AGLC), durante esfuerzos prolongados, disminuye el grado de utilización de glucógeno muscular y hepático, retardando la aparición de la fatiga.^{12, 13, 14, 15, 16, 17} No obstante, apenas si se han investigado los efectos producidos por la administración de triglicéridos de cadena media (MCT), sobre el rendimiento y metabolismo energético durante el ejercicio.

Los MCT son ésteres de glicerina con ácidos grasos de cadena media, fundamentalmente octanoato y decanoato. Dadas sus características (tabla I y II), se han utilizado con diversas finalidades en nutrición clínica, desde que en 1950 se introdujeron para el tratamiento de las alteraciones de la absorción de los lípidos. Constituyen un substrato energético de alto poder calórico, de inmediata disposición, por lo que nos hemos decidido a estudiar los efectos de su ingesta antes de esfuerzos prolongados.

Material y métodos

Cinco deportistas de sexo masculino consintieron voluntariamente a la realización del estudio. Sus características físicas quedan recogidas en la tabla III. Todos ellos eran atletas en activo, pertenecientes a un mismo club deportivo, con un régimen de entrenamiento similar y una dedicación de, al menos, 1 hora diaria, 3 días por semana, durante el último año. Previamente se efectuó una historia clínica y un examen médico a cada participante, sin que se detectara ninguna patología ni contraindicación al seguimiento del protocolo experimental. En cada sujeto se midieron los pliegues grasos

Tabla 1. Composición de los triglicéridos de cadena media.

AG de 6 átomos de carbono	1-2%
AG de 8 átomos de carbono	65-75%
AG de 10 átomos de carbono	25-35%
AG de 12 átomos de carbono	1-2%

Tabla 2. Características y propiedades de los triglicéridos de cadena media.

- Líquidos a temperatura ambiente.
- Insípidos.
- Incoloros.
- Relativamente solubles en agua.
- Pequeño tamaño molecular.
- Absorción intestinal tan rápida como la glucosa.
- Suministran 8.3 Kcal/g.

tricipital, subescapular, abdominal, suprailíaco, del muslo y de la pierna, mediante un lipómetro Holtain Ltd. Se tomó como índice de adiposidad la suma total de los 6 pliegues.

Inicialmente se realizó una prueba de esfuerzo máxima, conforme al protocolo de Wasserman,¹⁷ para la determinación del consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx.), y detectar el consumo de oxígeno y potencia desarrolladas en el umbral anaeróbico. Se utilizó, para ello, un cicloergómetro de freno electromagnético, un electrocardiógrafo, un cardioscopio (Bosch co.) y un ergoanalizador Oxycon-4 (Mijnhardt co.). Dos observadores determinaron, independientemente, el VO_2 y carga correspondientes al umbral anaeróbico (UAN) (ver criterios en ref. 17). La tabla IV reúne los resultados obtenidos por cada sujeto en la prueba de esfuerzo máxima.

Una semana después se practicó una prueba de esfuerzo prolongada, en un cicloergómetro Monark 818, consistente en pedalear durante 60 minutos a una frecuencia de 65 revoluciones por minuto. La resistencia de frenado fue ajustada para realizar un trabajo equivalente al 75% del efectuado en el UAN. Dicho esfuerzo se repitió, en las mismas condiciones, de 7 a 10 días más tarde. A cada individuo se le administraron de forma randomizada 360 ml de agua + 40 ml de MCT, o sólo 400 ml de agua, 10 minutos antes de cada prueba. En ambas ocasiones se registró de forma continua la frecuencia cardíaca (FC), el volumen espirado (VE), el VO_2 y el volumen de CO_2 producido (VCO_2), desde 5 minutos antes del inicio de las pruebas hasta 5 minutos después de su finalización.

Las condiciones de presión, humedad y tempe-

Tabla 3. Características físicas de los sujetos estudiados.

	EDAD Años	PESO Kg.	TALLA cm.	FC REPOSO lat./min.	ADIPOSIDAD 6 pliegues
M. B.	36	73	169.5	52	100.7
J. P.	26	65	168	53	35.3
J. H.	25	70.4	182.5	62	45.2
M. C.	37	63	163	48	50.1
J. O.	18	80.5	180.5	52	78.2
X	28.4	70.3	172.7	53.4	61.9
SD	8.0 [±]	6.9 [±]	8.4 [±]	5.1 [±]	26.9 [±]

Se refieren los valores individuales, y en la parte baja de la tabla los valores medios (X) y desviación standard (SD)

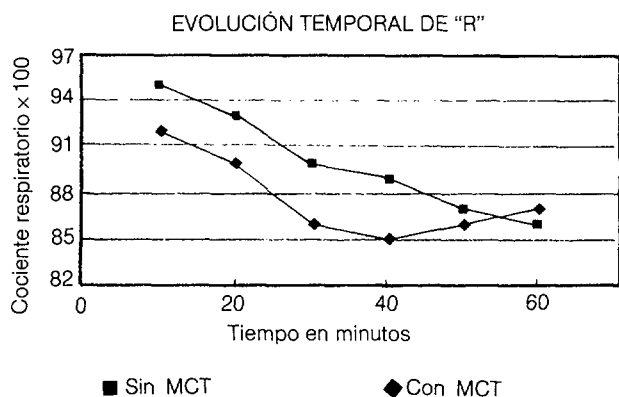


Figura 1. Evolución temporal del cociente de intercambio respiratorio. Se expresan los valores medios cada 10 minutos.

ratura ambientales oscilaron entre 1022-1024 milibares, 85-95% y 19-21 °C respectivamente.

Al inicio y al final de cada prueba se calibraron los instrumentos para evitar y detectar cualquier desviación en las medidas.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se efectuó mediante la prueba "t" de Student para datos apareados, estableciéndose el nivel de significación en $P < 0.05$.

Resultados

La tabla IV resume los resultados obtenidos por cada sujeto en las pruebas de esfuerzo máximas. El VO_2 máx. medio fue de: 51.46 ± 5.96 ml/ kg/ min, la potencia máxima media: 285 ± 13.7 watts, la frecuencia cardíaca máxima: 185.4 ± 10 lat/min, el VO_2 UAn: 33.4 ± 3.3 ml/ kg/ min, y la potencia desarrollada en el UAn: 200 ± 0 watts. (Valores expresados como $x \pm sd$).

La carga media utilizada durante las pruebas prolongadas fue de 150 watts, representando un 75% de la potencia desarrollada en el UAn, equivalente al $52.7 \pm 2.4\%$ de la potencia máxima, y al $48.7 \pm 3.9\%$ de VO_2 máx.

Todos los participantes completaron satisfactoriamente la hora de esfuerzo en las dos pruebas. Se observó, en ambas circunstancias, un aumento brusco del R desde el valor de reposo hasta el minuto 10, que se siguió de una disminución progresiva, más acentuada a partir del minuto 20, mostrando una tendencia a estabilizarse a partir del minuto 50. (fig. 1). El R fue menor en la prueba realizada tras la ingesta de MCT, aunque las diferencias sólo fueron significativas en los minutos 20, 30, 40, observándose un solapamiento de ambas curvas después del minuto 50. (Ver tabla V).

No se observaron diferencias significativas en la evolución temporal de la FC en las 2 pruebas,

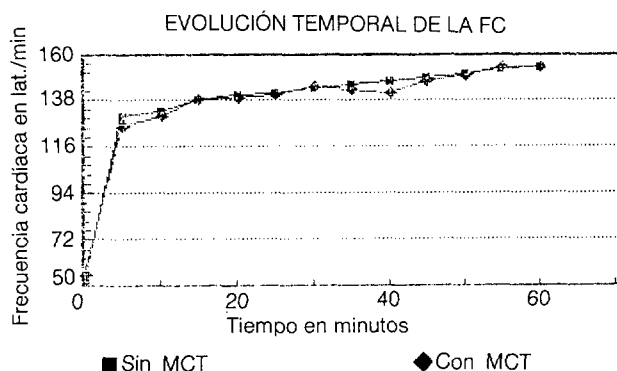


Figura 2. Evolución temporal de la frecuencia cardíaca. Se expresan los valores medios cada 10 minutos.

independientemente de la administración de MCT (Fig. 2).

Discusión

En el presente estudio, nos hemos servido de la calorimetría indirecta para comprobar el efecto de la administración de MCT sobre la utilización de substratos metabólicos en esfuerzos prolongados de mediana intensidad. Tanto en la prueba control, como en la realizada tras la administración de MCT, se observó una evolución decreciente del valor R, exceptuando los primeros 10 ó 15 minutos. Tal fenómeno es consecuencia de un aumento progresivo en la oxidación de ácidos grasos (AG) a medida que se prolonga el esfuerzo. Estos cambios fueron más acentuados tras la ingesta de MCT, sugiriendo una mayor obtención de energía a partir de los lípidos. Sin embargo, puesto que no se determinó el aclaramiento plasmático de AG, no se pudo demostrar que los AG consumidos fueran los AG de cadena media suministrados. Además existe cierta controversia en cuanto al efecto "ahorrador de carbohidratos" de los MCT. Decombaz y Roux¹⁸ encontraron que las ratas que habían recibido MCT y, a continuación, efectuaban una hora de ejercicio, consumieron menos glucógeno. Sin embargo, una experiencia similar llevada a cabo en humanos, no confirmó los resultados obtenidos previamente en el animal de experimentación.¹⁹ Igualmente, otros autores no han podido confirmar los resultados de Decombaz.²⁰

Tabla 4. Resumen de los resultados obtenidos por cada sujeto en la prueba de esfuerzo máxima.

	VO_2 máx. ml/kg/min	W máx. Watts	FC máx. lat/min	VO_2 UAn ml/kg/min	W UAn Watts	VO_2 UAn/ VO_2 máx. x100
M. B.	44	275	190	30.3	200	68
J. P.	59.8	300	197	38.8	200	64.8
J. M.	50.1	275	177	33.3	200	66.4
M. C.	49	275	173	33.6	200	68.5
J. D.	54.4	300	190	31.0	200	56.9
x	51.4	285	185.4	33.4	200	64.9
SD	5.9	13.6	10.0	3.3	0	4.7

Tabla 5. Evolución del cociente de intercambio respiratorio "R" en la prueba de esfuerzo control, y la realizada tras la administración de MCT, ambas de una hora de duración.

Tiempo en min.	0	10	20	30	40	50	60
Sin MCT							
R (x)	0.87	0.95	0.93	0.91	0.89	0.87	0.85
SD	0.04	0.03	0.01	0.01	0.01	0.08	0.08
Con MCT							
R (x)	0.87	0.92	0.89	0.86	0.84	0.85	0.86
SD	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04
	NS	NS	p<0.03	p<0.04	p<0.02	NS	NS

La comparación de resultados se efectuó mediante la prueba "t" de Student para datos apareados, estableciéndose el nivel de significación en $P < 0.05$.

No obstante, existen numerosos estudios, realizados tanto en humanos como en animales de experimentación, de los que se infiere que el aumento durante el ejercicio de los AGLC se acompaña de un menor consumo de glúcidos y un ahorro de glucógeno muscular, retrasando la aparición de la fatiga. Para aumentar la concentración plasmática de AGLC se ha utilizado la ingestión de una comida rica en grasas seguida, pocas horas después, de la administración de una inyección endovenosa de heparina,^{12, 13, 14} o simplemente la ingestión de cafeína minutos antes del ejercicio.^{15, 21, 22, 23} Los mecanismos por los cuales el incremento plasmático de AGLC ententece la deplección de los depósitos corporales de glúcidos incluyen, probablemente, una inhibición de la glicolisis y de la captación muscular de glucosa, secundarios a una acumulación intracelular de citrato.^{27, 28}

Los MCT se absorben tan rápidamente como la glucosa.²⁴ Puesto que su hidrólisis intraluminal es relativamente completa, se absorben principalmente como AGL, pasando directamente al sistema venoso portal. Tras llegar al hígado, una pequeña cantidad de AGL pasará a la circulación sistemática,²⁶ mientras que el resto es oxidado, rindiendo acetil coenzima A, y cuerpos cetónicos que pasan a la circulación general.²⁵ El aumento de

la concentración intrahepatocitaria de acetil-CoA puede conducir a una menor utilización de los aminoácidos como sustrato neoglucogénico.

El descenso observado en el R después de administrar MCT podría deberse a la:

- Utilización preferente, de cierta proporción de los MCT administrados, como sustrato energético por parte del músculo esquelético y/o miocárdico.
- Inhibición de la oxidación de los carbohidratos endógenos (glucosa plasmática y glucógeno muscular) en favor de una mayor utilización de los lípidos endógenos, ya sean los AGL circulantes o las reservas de triglicéridos del propio músculo.
- Oxidación por el músculo esquelético y/o miocardio de los cuerpos cetónicos generados a nivel hepático tras la administración de MCT.
- Combinación de los fenómenos anteriores.

Conclusión

La administración de MCT minutos antes de esfuerzos prolongados de intensidad mediana (50-60% del VO_2 máx.), se acompaña de una disminución del cociente de intercambio respiratorio "R". Se precisan nuevas investigaciones para verificar si tal fenómeno es debido a una utilización preferente, como sustrato energético, de los lípidos suministrados, así como su repercusión sobre la reserva glucídica hepática y muscular.

Expresamos nuestro agradecimiento al Centro Médico Rehaset (Mataró) y a los Laboratorios Farmacéuticos Rubió, por su contribución material y técnica en la realización de este trabajo.

**Correspondencia: Dr. J. A. López Calbet
Padilla, 309, 1º, 4ª.
08025 Barcelona**

Bibliografía

- AHLBORG, B.; BERGSTROM, J.; EKELUND, L.G., and HULTMAN, E.: Muscle glycogen and muscle electrolytes during prolonged physical exercise. *Acta Physiol. Scand.*, 1967. 70: 129-142.
- CHRISTENSEN, E.M., and HANSEN, O.: Hypoglykämie, arbeitsfähigkeit und ermüdung. *Skand. Arch. Physiol.*, 1939. 81: 172-179.
- PRUETT, E.: Glucose and insulin during prolonged work stress in men living on different diets. *J. Appl. Physiol.*, 1970. 28: 199-208.
- HERMANSEN, L.; HULTMAN, E., and SALTIN.: Muscle glycogen during prolonged severe exercise. *Acta Physiol. Scand.*, 1967. 71: 129-139
- AHLBORG, B.J.; BERGSTROM, J.; BROHULF, J.;

- EKELUND, L.J.; HULTMAN, E., and MASCHIO, G.: Human muscle glycogen content and capacity for prolonged exercise after different diets. *Foervarsmedicin*, 1967. 3: 85-99.
6. BERGSTROM, J.; HERMANSEN, L.; HULTMAN, E., and SALTIN, B.: Diet muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiol. Scand.*, 1967. 71: 140-150.
 7. CHRISTENSEN, E.H., and HANSEN, O.: Arbeitsfähigkeit und ernährung. *Skand. Arch. Physiol.*, 1939. 81: 160-171.
 8. BAGBY, G.L.; GREEN, H.J.; KATSUTA, S., and GOLLNICK, P.D.: Glycogen depletion in exercising rats infused with glucose, lactate, or pyruvate. *J. Appl. Physiol.*, 1978. 45: 425-429.
 9. BERGSTROM, J., and HULTMAN, E.: Muscle glycogen synthesis after exercise: and enhancing factor localized to the muscle cell in man. *Nature*, 1966. 210: 309-310.
 10. COSTILL, D.L.; GOLLNICK, P.D.; JANSON, E.C., and SALTIN, B.: Glycogen depletion patterns in human muscle fibers during distance running. *Acta Physiol. Scand.*, 1973. 89: 374-383.
 11. KARLSSON, J., and SALTIN, B.: Diet, muscle glycogen and endurance performance. *J. Appl. Physiol.*, 1971. 31: 203-206.
 12. COSTILL, D.L.; COYLE, E.; DALSKY, G.; EVANS, W.; FINK, W., and HOOPES, D.: Effects of elevated plasma FFA and insulin on muscle glycogen usage during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 1977. 43: 695-699.
 13. RENNIE, M.J.; WINDER, W.W., and HOLLOSZY, J.O.: Asparing effect of increased plasma fatty acids on muscle and liver glycogen content in the exercising rat. *Biochem. J.*, 1976. 156: 647-655.
 14. HICKSON, R.C.; RENNIE, M.J.; CONLEE, R.K.; WINDER, W.W., and HOLLOSZY, J.O.: Effects of increased plasma fatty acids on glycogen utilization and endurance. *J. Appl. Physiol.*, 1977. 43: 829-833.
 15. COSTILL, D.L.; DALSKY, G.P., and FINK, W.J.: Effects of caffeine ingestion on metabolism and exercise performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 1978. 10: 155-158.
 16. ESSIG, D.; COSTILL, D.L., and VAN HANDEL, P.J.: Effects of caffeine ingestion on utilization of muscle glycogen and lipid during leg ergometer cycling. *Int. J. Sports Med.*, 1980. 1: 86-90.
 17. WASSERMAN, K.: Determinants and detection of anaerobic threshold and consequences of exercise above it. *Circulation*, 1987. (Suppl. VI), VI-29.
 18. DECOMBAZ, J., and ROUX, L.: Glucogen utilization in exercise after increased plasma fatty acid and ketone bodies. *Int. J. Vit. Nutr. Res.*, 1980. 50: 210-211.
 19. DECOMBAZ, J.; ARNAUD, M.J.; MILON, H.; MOESCH, H.; PHILIPPOSIAN, G.; THELIN, A.L., and HOWALD, H.: Energy metabolism of medium chain triglycerides versus carbohydrates during exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1983. 52: 9-14.
 20. AUCLAIR, E.; SATABIN, P.; SERVAN, E., and GUEZENNEC, C.Y.: Metabolic effects of glucose, medium chain triglyceride and long chain triglyceride feeding before prolonged exercise in rats. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1988. 57: 126-131.
 21. IVY, J.; COSTILL, D.; FINK, W., and LOWER, R.: Influence of caffeine and carbohydrate feedings on endurance performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 1979. 11: 6-11.
 22. ERIKSON, M.A.; ROBERT, J.; SCHWARZKOPF and MCKENZIE, R.D.: Effects of caffeine, fructose, and glucose ingestion on muscle glycogen utilization during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 1987. 19: 579-583.
 23. IBER, F.: Relative rates of metabolism MCT, LCT and ethanol in man. In: Kaunitz, H., Lang, K., Fekl, W. Eds. *Mittelkettige Triglyceride in der diät. 2 Ernährungswiss*, 1974. 17 (Suppl.): 9-16.
 24. BACH, A.C., and BABAYAN, V.K.: Medium chain triglycerides: an update. *Am J. Clin. Nutr.*, 1982. 36: 950-962.
 25. FLATT, J.P.; RAVUSSIN, E.; ACHENSON, K.J., and JEQUIER, E.: Effects of dietary fat on postprandial substrate oxidation and on carbohydrate and fat balances. *J. Clin. Invest.*, 1985. 76: 1.019-1.024.
 26. GARLAND, P.B.; RANDLE, P.J., and NEWSHOLME, E.A.: Citrate as an intermediary in the inhibition of phosphofructokinase in rat heart muscle by fatty acids, ketone bodies, pyruvate, diabetes and starvation. *Nature*, 1963. 200: 169-170.
 27. NEEL, J.R., and MORGAN, H.E.: Relationship between carbohydrate and lipid metabolism and the energy balance of heart muscle. *Ann. Rev. Physiol.*, 1974. 36: 413-459.

