

Actualización del metabolismo del
Acido Lactico, y sus implicancias en los
procesos de recuperación deportiva
(Parte I)

Dr. Juan Carlos Mazza

(Argentina)

Metabolismo de lactato durante reposo y ejercicio: el transporte (“Shuttle”) de lactato

- La acumulación de ácido láctico durante el ejercicio intenso provoca una disminución del pH muscular y sanguíneo, perturbando el estado ácido-base.
- La teoría del “Shuttle” de lactato presupone que el ácido láctico es removido a tejidos anatómica e histológicamente iguales o diferentes, a distancia, brindando una fuente significativa de sustrato oxidable y de precursor neoglucogénico. Se constituye en un medio para la movilización y distribución de una fuente de energía potencial.
- La utilización de lactato provee una fuente para mantener la homeostasis de la glucosa sanguínea y un efecto “alcalinizante” sobre el estado ácido-base.

Brooks G.A., 1985

LOS “CAMINOS” METABOLICOS DEL ACIDO LACTICO

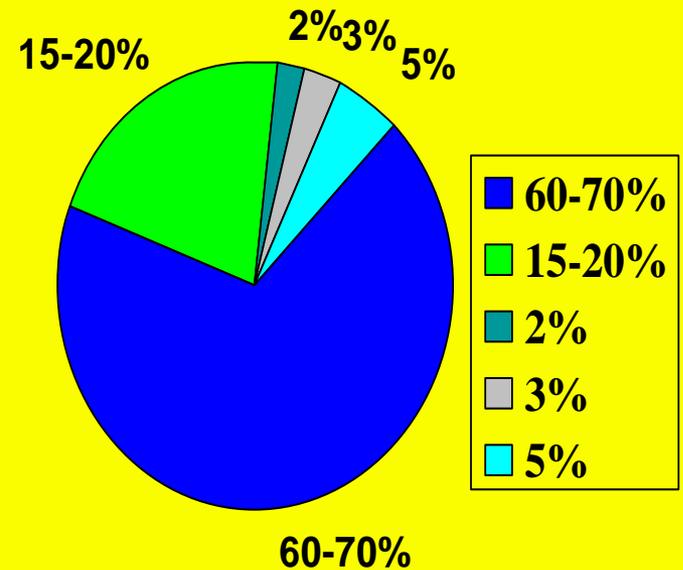
60-70% LACT. → PIRUV. → OX. (Remociòn–Oxidaciòn)

15-20% LACT. → GLUCÒGENO (Neo-Gluco,genogènesis)

2-5% LACT. → GLUCOSA (Neo-Gluco,genèsis)

3% LACT. → ALANINA

2-5% LACT. → OTROS AC. 3-C



Tipo de fibra muscular, flujo de perfusión capilar y remoción-oxidación de lactato

- Ha sido reiteradamente probado que las fibras Ft IIb producen lactato que es captado por las Fibras St adyacentes, o difundirse al torrente sanguíneo y ser captado y oxidado por las fibras St, a distancia (principio del “Lactate Shuttle”; Brooks G.A., MSSE, 1986; Brooks et al., JAP, 1984). Las fibras Ft IIa también tienen un importante comportamiento oxidativo.
- Se ha comprobado que una mayor perfusión de sangre capilar (por ej., efecto generado por el trabajo recuperación activa) mejora la difusión del lactato de la célula al torrente, y su transporte hacia áreas de oxidación.
- **El aumento de la relación capilares / fibras St es importante para la provisión de mayores niveles de O₂; el incremento de la relación capilares / fibras Ft parece ser más importante para el transporte de lactato, que para el transporte de O₂.**

Mecanismos de “Shuttle” de Lactato



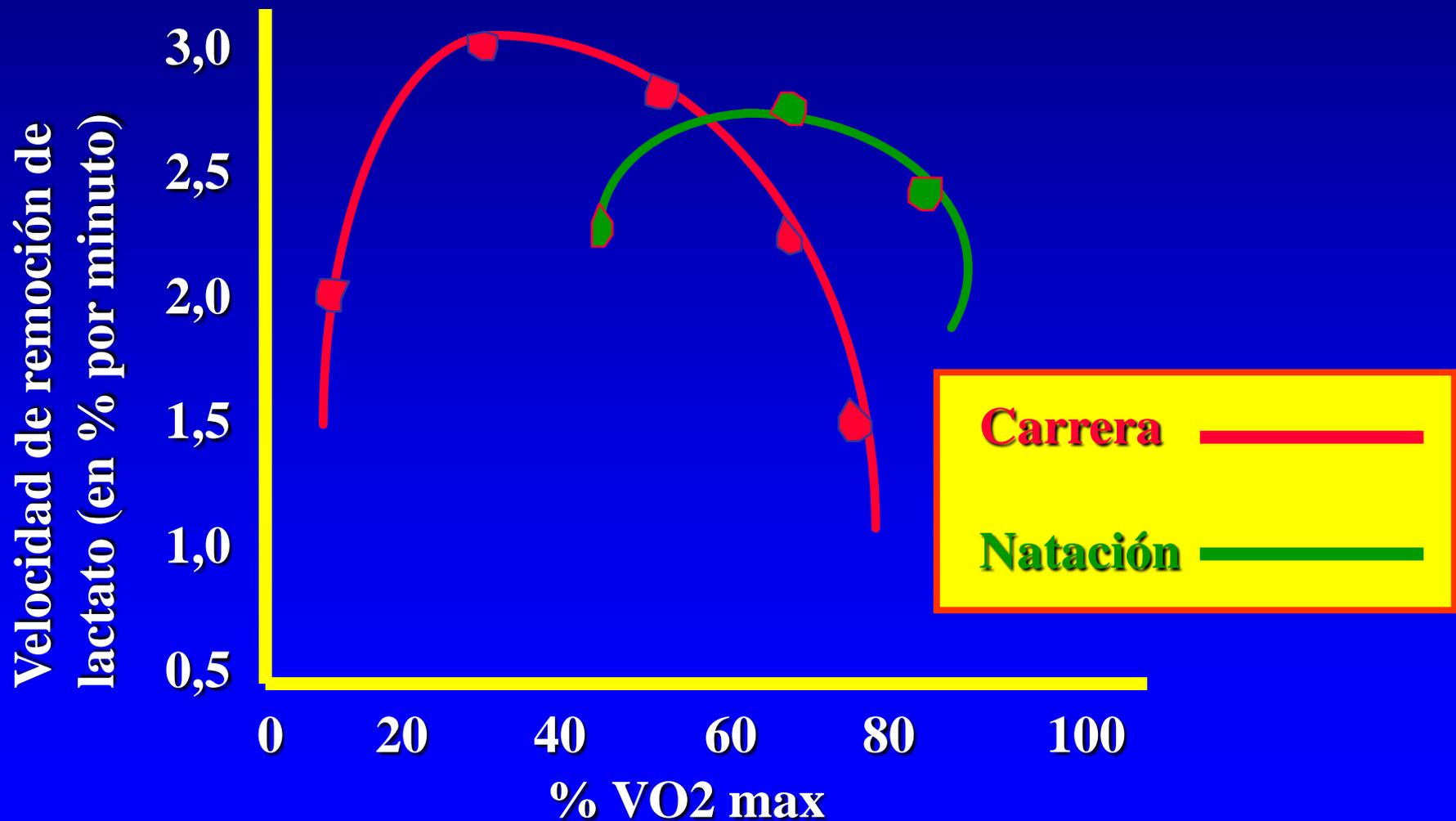
“Consumo” de lactato (“Lactate Uptake”) por parte de músculos en reposo

- Karlsson et al. (JAP, 1975) encontraron que el ejercicio de piernas aumentaba la concentración de AL en músculos del brazo de 1.0 a 9.7 mmol/kg. Similarmente, el ejercicio de brazos aumentaba la concentración de AL en músculos de las piernas de 1.0 a 7.8 mmol/kg.
- **Coincidentemente, Poortmans et al (JAP, 1978) midieron diferencias A-V de lactato en músculos de brazo en reposo, durante ejercicio progresivo de piernas. El lactato de los músculos en reposo correlacionaba directamente con la concentración arterial de lactato. Este y otros estudios (Freyschuss y Strandell, JAP ,1987) sugieren que entre el 8-12 % del lactato producido, es removido por los músculos en reposo.**

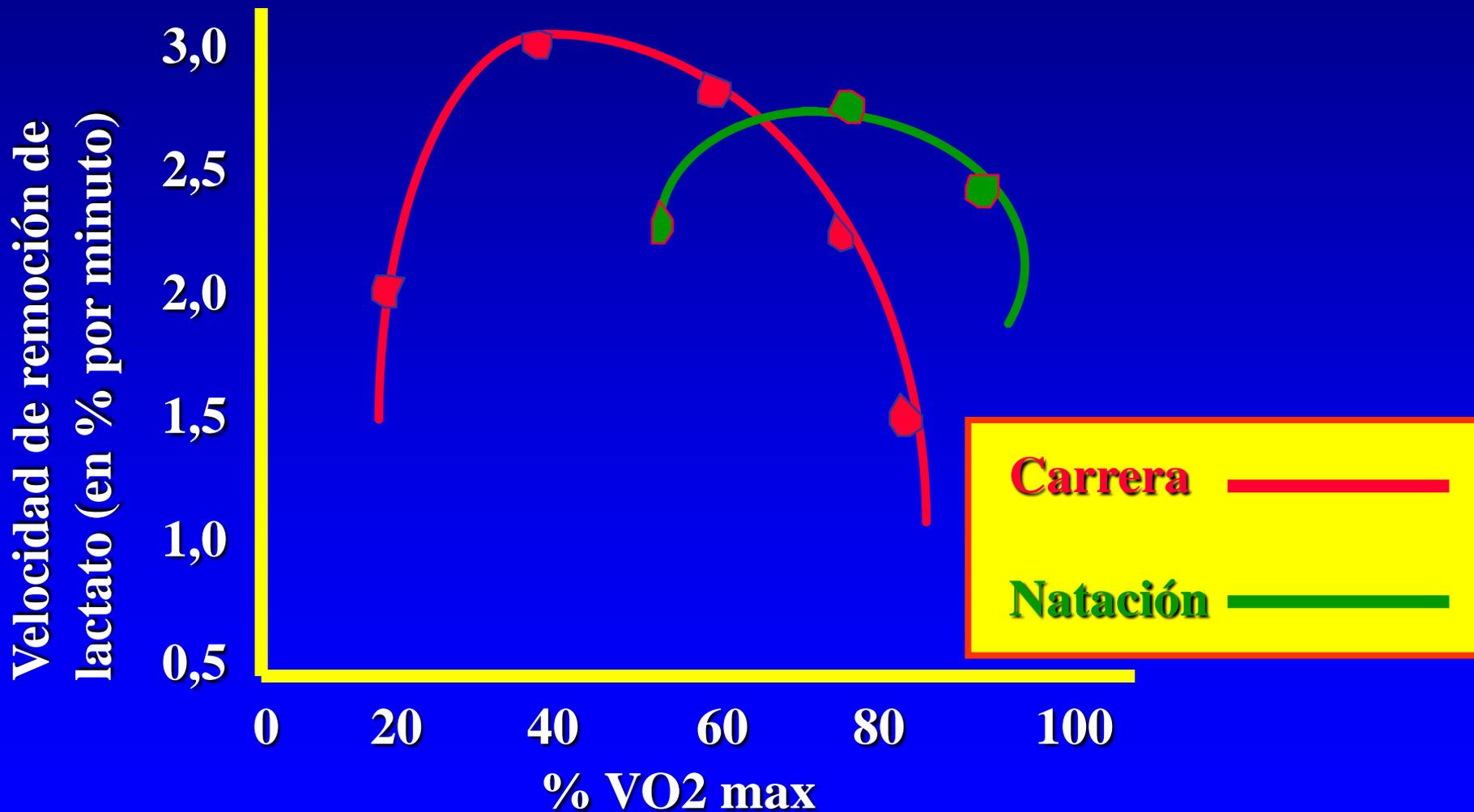
Disminución de lactato durante ejercicios de recuperación

- Jervell en 1928 (Acta Med Scand), y Newman et al. en 1937 (AmJP), ya habían observado que la concentración de lactato sanguíneo declinaba durante el ejercicio de recuperación, en relación con la intensidad del esfuerzo, hasta un nivel crítico de actividad. Entre 1940 y 1990, más de 20 estudios ratificaron estas evidencias preliminares.
- **Algunos estudios difieren en la intensidad del ejercicio (% de intensidad de VO₂ max.) que remueve más rápido el lactato (Davies et al., JAP, 1986: 40-50 % VO₂ max; Hermansen y Stensvold, Acta Phys. Scand, 1972: 60-75%). Pero todos los estudios son coincidentes en afirmar que la intensidad óptima para la remoción de lactato es ligeramente submáxima al umbral láctico (< 4 mMol/l).**

Velocidad de remoción de Lactato e intensidad del ejercicio (en % VO2 max.)



Velocidad de remoción de Lactato e intensidad del ejercicio (en % de Intensidad)

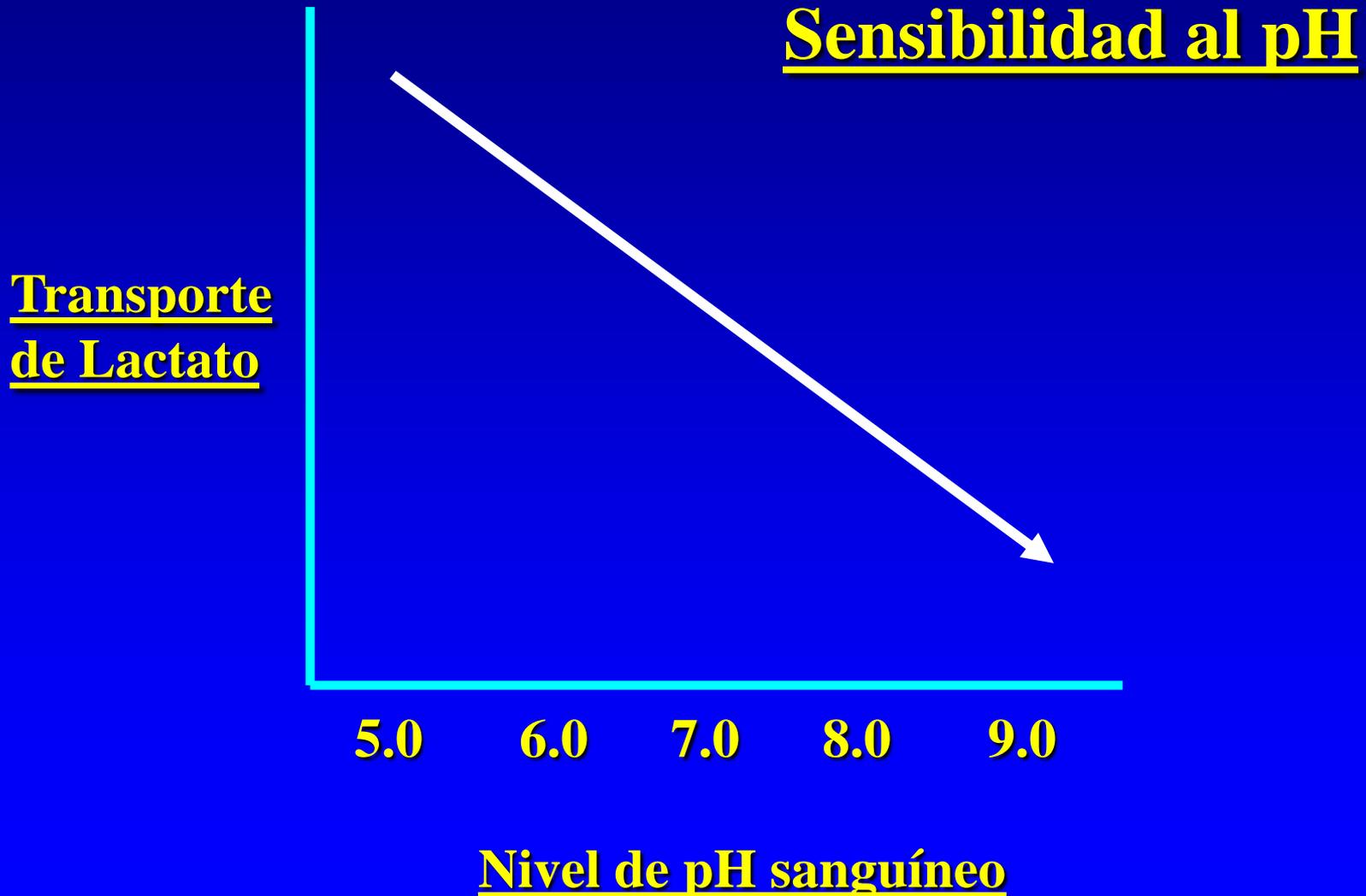


Transporte (“Shuttle”) de lactato

- Factores influyentes:

- * Es pH dependiente ($> [A^-] \longrightarrow > \text{transporte}$).
- * Las fibras rojas (St) tienen más capacidad de transporte que las fibras blancas (Ft).
- * Decrece con la edad.
- * Los deportistas tienen más capacidad de transporte que los sedentarios.
- * Aumenta con la actividad y decrece con la inactividad.
- * Decrece durante el esfuerzo en la altura.

Relación entre transporte de lactato y pH



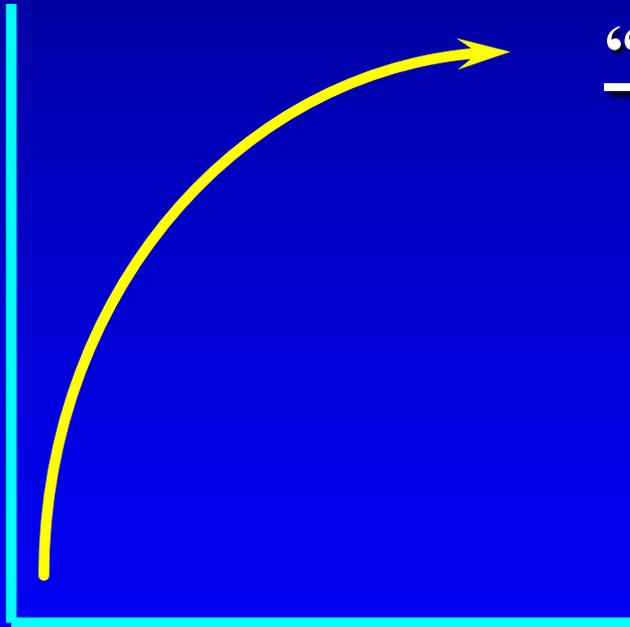
Mecanismos de movilidad y transporte de lactato entre compartimentos

Transporte

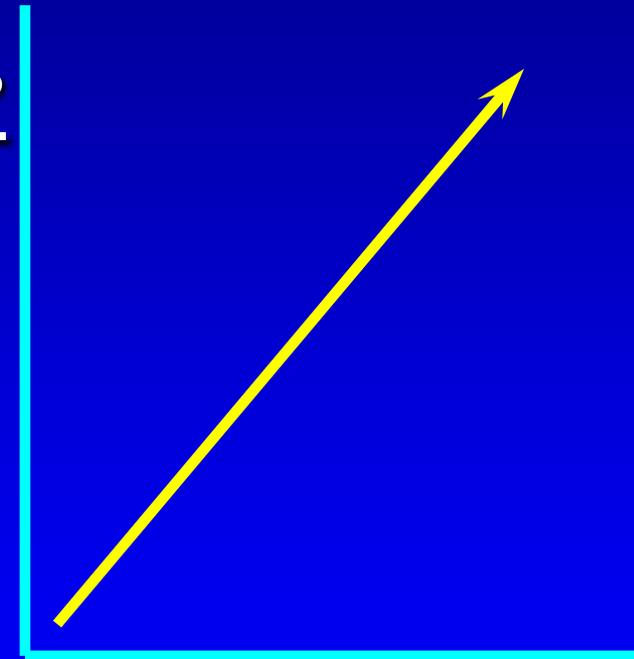
(saturable)

Difusión

“Shuttle”



“Shuttle”



Nivel de sustrato [AL]

Nivel de sustrato [AL]

Mecanismos de transporte de Lactato a través de la membrana

- Mecanismo de transporte pasivo:

Por diferencias entre gradientes de concentración de lactato entre compartimentos.

- Mecanismo de transporte activo:

Mediado por transportadores proteicos en la membrana (Monocarboxilate Carrier Transporters - MCT).

Tipo de transportadores MCT:

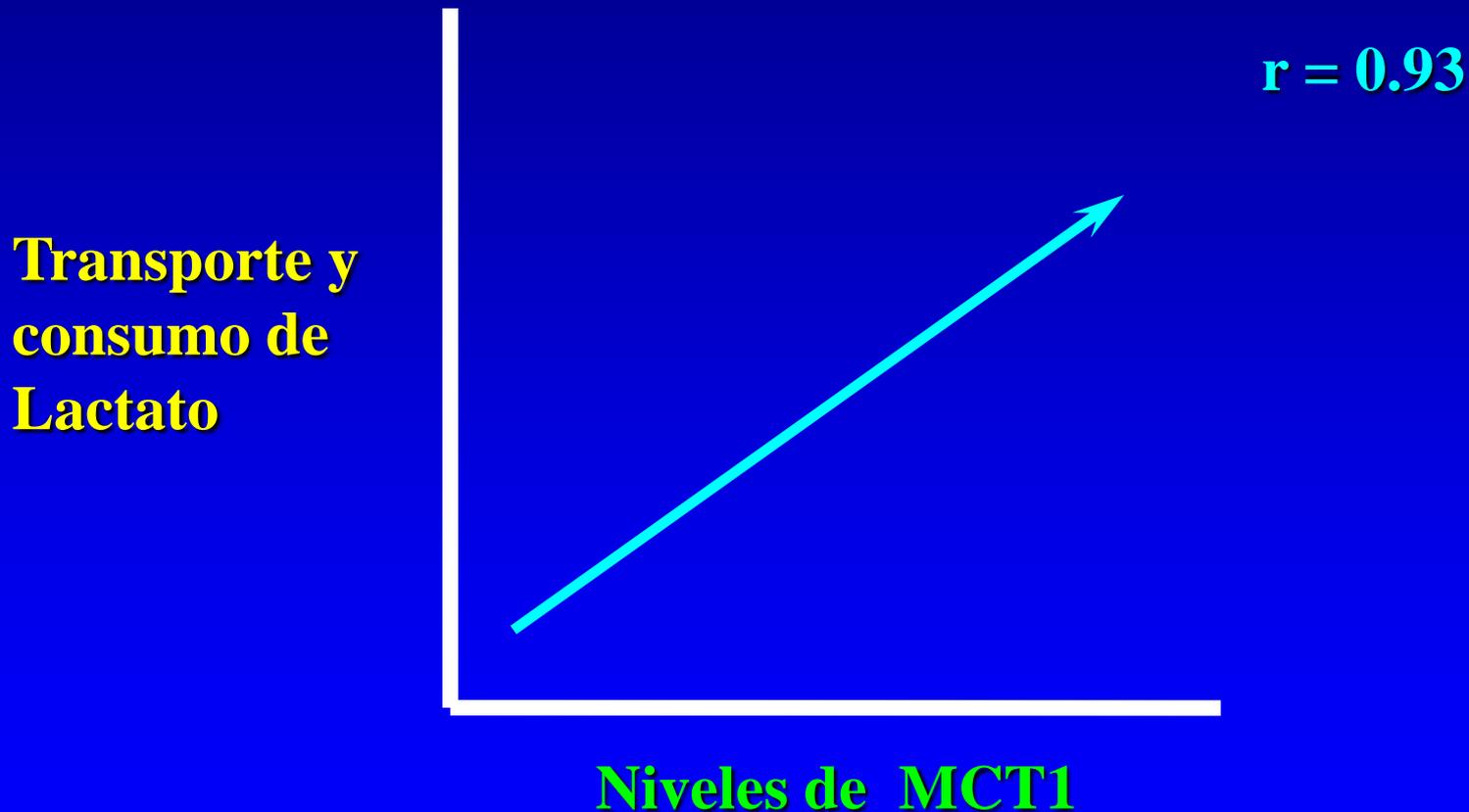
- MCT 1:

* Mayor cantidad en músculos con predominio de fibras ST, en el corazón y en el cerebro. Hay también menor nivel en las fibras FT, donde predominan los fenómenos de difusión.

- MCT 2:

* Mayor predominio en tejido hepático y cerebral.

Relación entre transporte y consumo de lactato y niveles de MCT 1



Transporte activo y pasivo de lactato a través de la membrana celular

- Hay clara evidencia de que existe un mecanismo de transportadores o “carriers” activos en las membranas celulares del músculo esquelético.
- También hay suficiente evidencia de que hay difusión de lactato a través de la membrana, por diferencias de gradiente a uno y otro lado de la misma.
- Aunque muchos estudios muestran que hay diferencias marcadas entre la concentración de lactato muscular vs. sanguíneo (relación de 3-4 / 1), ello no es evidencia suficiente de que haya alguna barrera u obstáculo para la transferencia de lactato. Las diferencias entre las concentraciones de lactato intra y extracelular pueden simplemente reflejar una distribución de lactato en estado de equilibrio (“steady-state”), a cada lado de la membrana.

Transporte activo y pasivo de lactato a través de la membrana celular

- Algunos estudios plantean la existencia de una saturación límite en el sistema de transporte de lactato trans-membrana (Jorfeldt et al., JAP, 1978; Karlsson et al., Pflügers Arch, 1972).
- En contraste, Hirche et al. (1971, 1975) no encontraron un efecto de saturación ante la concentración creciente, en gemelos de perros. La excreción celular de lactato creció linealmente ante el incremento (en un rango de concentraciones entre 1-30 mmol/l.), en el músculo.
- Adicionalmente, McLane y Holloszy (J.Biol.Chem., 1979) no encontraron efecto de saturación en el transporte de lactato en un rango de 1 a 26 mmol/l (en el músculo), por lo cual no se evidencia un “plateau” en el consumo de lactato.

Transporte activo y pasivo de lactato a través de la membrana celular

- Se publicaron 3 estudios que dan evidencia de un sistema de transporte en la membrana, y que a su vez cuantificaron la relación transporte activo/pasivo:
 - # Koch et al. (Biophys. J., 1981) calcularon que el transporte por “carrier” es cercano al 75 % del total de transporte, y que la difusión libre es responsable del 25 %.
 - # Mason y Thomas (J. Physiol., 1988) informan transporte por “carrier” del 64 %, aunque no encontraron efecto de saturación a concentraciones musculares de 5 a 60 mmol/lit.
 - # Watt et al. (Biochem. Bioph. Acta, 1988) concluyeron que el transporte trans-membrana está sustentado en 2 mecanismos:
 - a) Mecanismo “no saturable” que da cuenta del 70 al 90 % del transporte de lactato a concentraciones de 5 a 50 mmol/lit.
 - b) Mecanismo “saturable” que da cuenta del 10 al 30 % restante.

Carga de esfuerzo y niveles de “Monocarboxilate Carrier Transporters” (MCT) en los tejidos

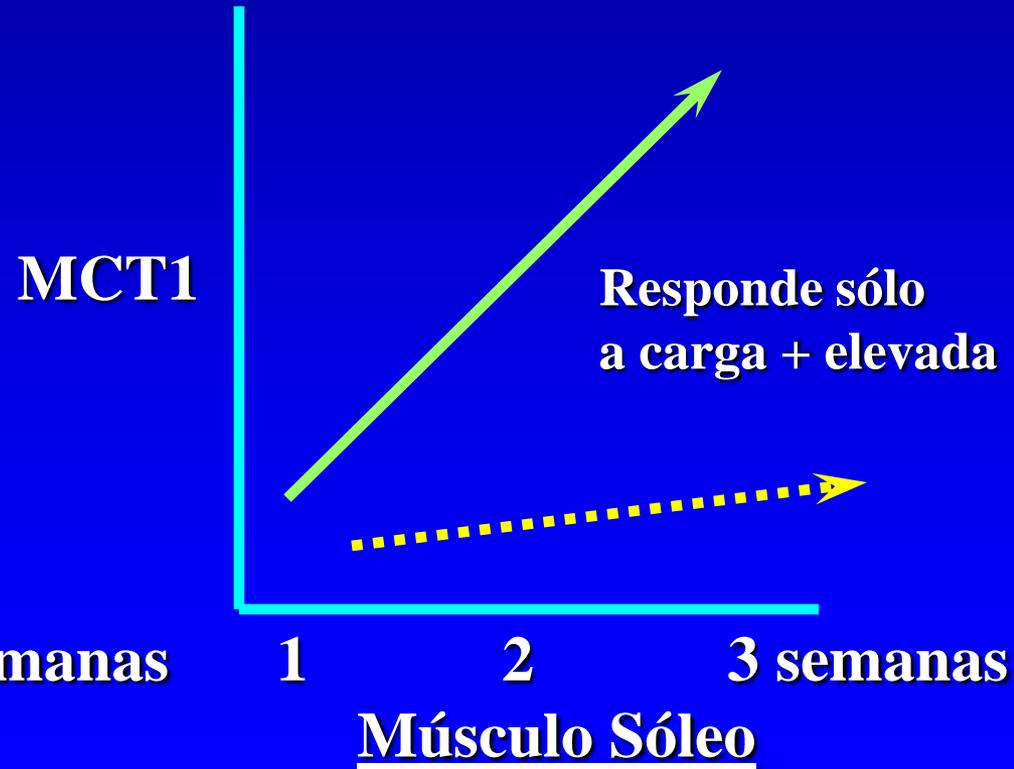
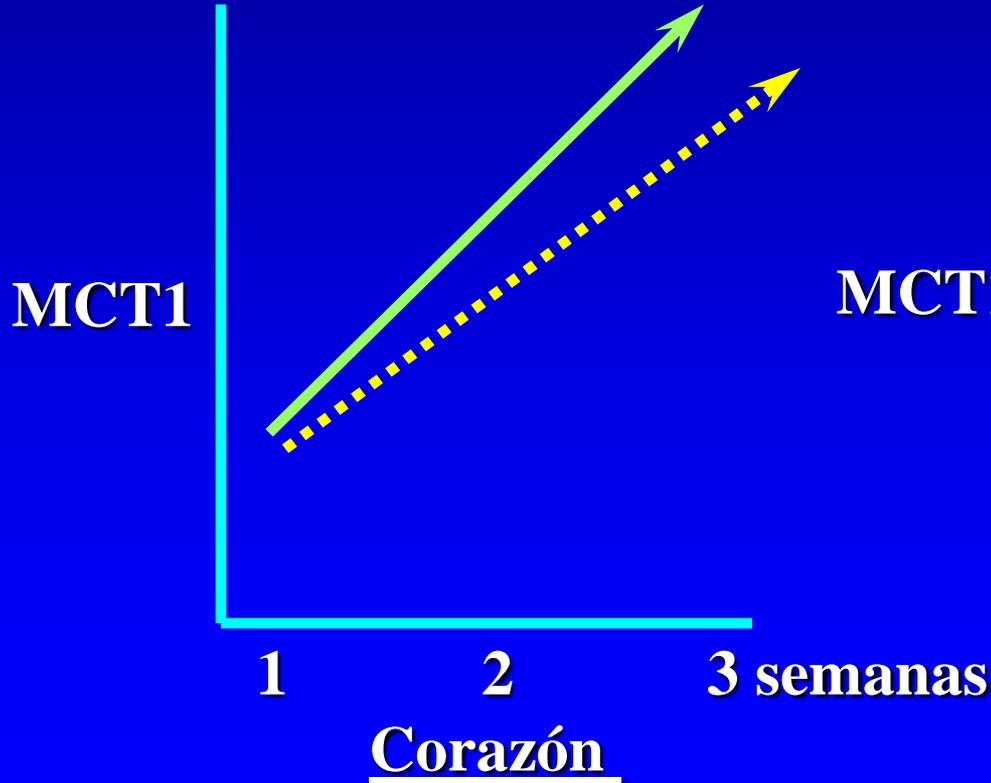
- Responde al entrenamiento en humanos y en animales (ratas), y es dependiente de la intensidad de los estímulos.
- Responde en los músculos entrenados crónicamente con entrenamiento de resistencia.
- Ante una frecuencia de 4-5 estímulos semanales de 50-60' cada uno, se detecta un incremento significativo de MCT en 3-4 semanas de trabajo.

Entrenamiento y MCT1, en músculo y en corazón

Entrenamiento de resistencia:

a) c/inclinación 8%, 1h/día, 5 días/semana➔

b) c/inclinación 15%, 1h/día, 5 días /semana —➔



CONCLUSIONES

- El transporte o “Shuttle” de lactato implica transferencia de lactato entre compartimentos, y su consumo o utilización (a distancia) como combustible oxidativo.
- A moderados-elevados niveles de lactato, pareciera que el mecanismo de transporte entre compartimentos está regulado, en forma conjunta, por mecanismos de difusión y de transporte activo (no saturable entre 1-60 mMol / lt; entre 1-14 a 15 mMol / lt en sangre arterializada).
- Se ha calculado que el transporte “activo” es cercano al 75 % del total de transporte; y que el transporte “pasivo” por difusión es responsable del 25 % del total de transporte de lactato.