

## I. INTRODUCCIÓN

La habilidad de hacer ejercicios depende del suplemento de energía hacia los músculos esqueléticos para la contracción muscular. La contracción y relajación del músculo esquelético requiere energía química derivada de la adenosina trifosfato (ATP), un compuesto rico en energía, que es sintetizado dentro de las fibras del músculo esquelético por el metabolismo de los nutrientes. La energía química está presente en todos los tipos de comidas como las proteínas, carbohidratos, y grasas; sin embargo esta energía no puede ser directamente usada para la contracción y relajación. En su lugar, la fibra muscular debe metabolizar moléculas nutrientes básicas y usar algo de la energía liberada durante ese proceso metabólico para formar ATP. Las moléculas de ATP son entonces usadas como una fuente energética para la contracción y relajación muscular. El proceso está resumido en la Fig. 15.1.

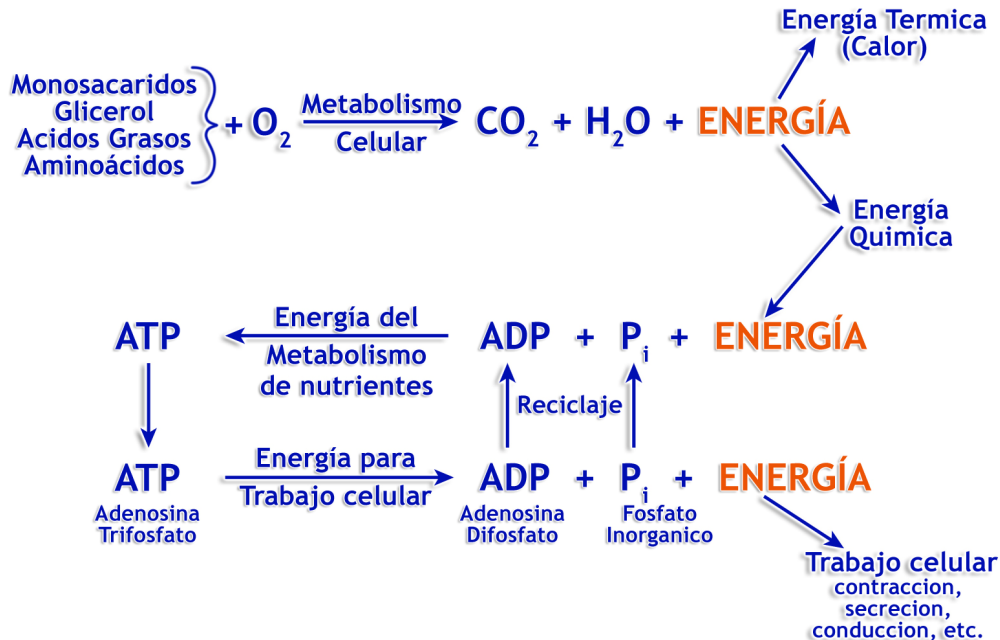


Fig. 15.1 Proceso del metabolismo ATP

El ejercicio incrementa las demandas para el ATP. Las fibras del músculo esquelético guardan muy poco ATP por lo que el abastecimiento inmediato y continuo de ATP puede ocurrir si el ejercicio es continuo. El ATP puede rápidamente ser generado por fosfato de creatina de las reservas de los músculos, otro fosfato de alta energía (Fig. 15.2). Aunque la energía en fosfato de creatina no se puede utilizar directamente para la contracción, pero puede ser transferida con fosfato al ADP para el abastecimiento del ATP.

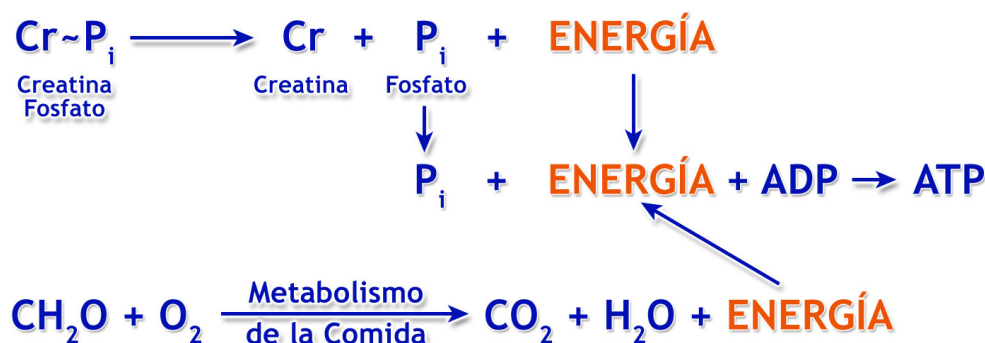


Fig. 15.2

Los suplementos de creatina dietética puede ligeramente incrementar la habilidad para realizar en corto tiempo ejercicios de alta intensidad; sin embargo, los niveles de fosfato de creatina normalmente son suficientes por ellos mismos sólo durante cortos periodos de tiempo de ejercicio agudo (ej., los primeros 5 segundos al correr un esprint de 100 metros). Después de los primeros pocos segundos, la energía necesaria para la contracción y relajación es proporcionada por el ATP generada durante la glicólisis (algunas veces) y fosforilación oxidativa (mayoría).

La glicólisis Anaeróbica, un proceso que no requiere oxígeno, genera una pequeña cantidad de ATP e hidrógeno como glucosa que se metaboliza en ácido pirúvico (Fig. 15.3). Con la presencia de oxígeno adecuado, el ácido pirúvico se convierte en CoA acetílico, lo que entra en el ciclo del ácido cítrico. El Hidrógeno producido antes y durante la conversión y durante el ciclo del ácido cítrico es oxidizado en agua, un proceso conocido como fosforilación oxidativa porque además del oxígeno requerido, ADP es fosforilado y da como resultado la formación de gran cantidad de ATP. Si el oxígeno no es adecuadamente proporcionado al músculo ejercitado, el ácido pirúvico se convierte en ácido láctico, un metabolismo que provoca el incremento de la acidez del fluido extracelular (acidosis láctica). Inmediatamente después del ejercicio, el ácido láctico es tomado por el músculo, convertido después en ácido pirúvico, y metabolizado para formar ATP mediante las rutas oxidativas. La cantidad adicional de oxígeno, encima de la cantidad necesaria para relajar un músculo, para procesar el ácido láctico producido durante el ejercicio se llama *Resto de Oxígeno*.

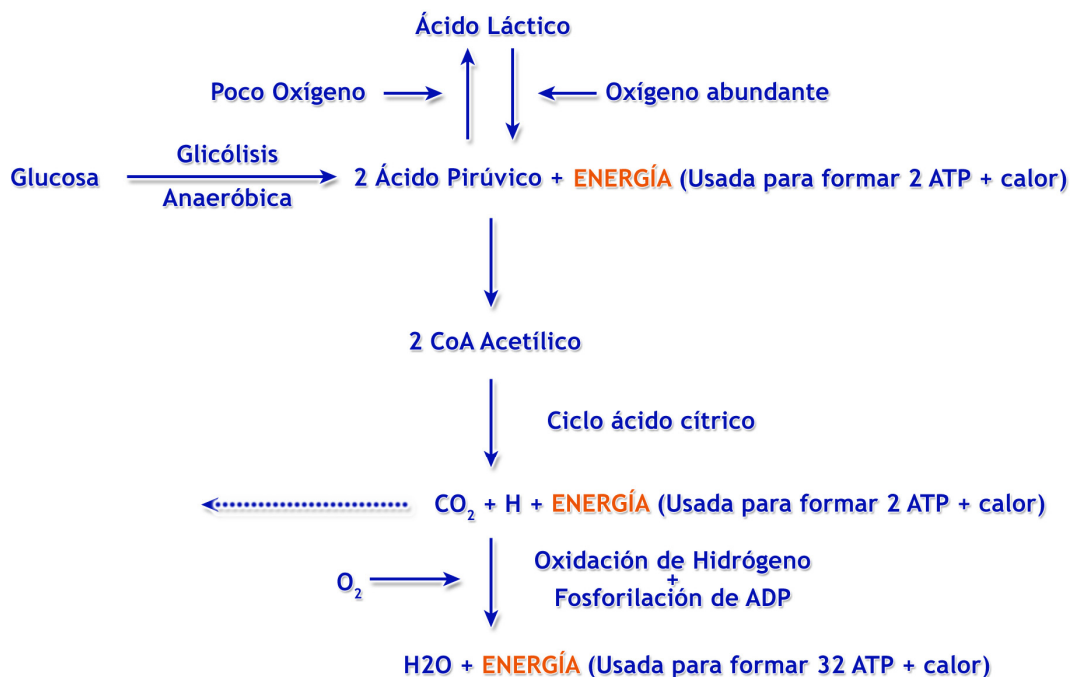


Fig. 15.3

La glucosa del glicógeno intramuscular, un polímero de glucosa, y circulando libre de ácidos grasos es el mayor ejercicio que la energía substrahe durante un trabajo suave o moderado; el uso de aminoácidos es muy bajo en cualquier intensidad de trabajo. Durante un ejercicio suave o moderado, las grasas es la primera energía de origen para la contracción del músculo. El incremento de la estimulación simpática de tejido adiposo durante el ejercicio acelera la descomposición de grasas, incrementando los niveles de circulación de glicerol y ácidos grasos. El metabolismo de ácidos grasos producen aproximadamente 2 veces más como el ATP hace el metabolismo de una cantidad equivalente de monosacáridos o aminoácidos, y las reservas de grasa corporal son grandes en relación a la demanda de energía de la mayoría de ejercicios suaves prolongados. Consecuentemente, el ejercicio suave no está limitado por el agotamiento de sustrato de energía y se puede continuar casi indefinidamente con metabolismo oxidativo (aeróbicos) generando casi todo el ATP necesario.

Pequeñas cantidades de ATP se generan también anaeróbicamente de la conversión de glucosa a pirovato (glicólisis) y de la desfosforilación de fosfato de creatina.

Durante un ejercicio dinámico moderado a duro (frecuencia trabajo por encima del 50% del pico de consumo de oxígeno) adecuado manteniendo la producción de ATP para mantener la frecuencia de trabajo también depende de la descomposición del glicógeno (glicogenólisis) y el metabolismo de la glucosa derivada glicogénica. Cuando las reservas de glicogenia intramuscular están agotadas, se produce el agotamiento. En consecuencia, la capacidad del trabajo prolongado en intensidad moderada a dura dependiendo en la cantidad de glicogenia almacenada, lo cual varía de persona a persona y que se puede ver alterada por la actividad anterior y la dieta.

El ejercicio prolongado a cualquier nivel de intensidad depende del oxígeno. La dependencia primaria en el metabolismo oxidativo para la producción del ATP permite una intensidad de ejercicio estable para ser medida en términos de consumo de oxígeno. Durante el ejercicio dinámico, el consumo de oxígeno incrementa con el aumento de intensidad del ejercicio hasta alcanzar un altiplano, llamado *pico de consumo de oxígeno*. Durante el descanso, un adulto normal consume oxígeno a una frecuencia de 250 mL por minuto. Durante un ejercicio duro, una persona desentrenada tiene un consumo de oxígeno que puede incrementarse doce veces a un pico de 3000 mL por minuto. No es extraño que un atleta entrenado tenga un consumo de 5000 mL por minuto. El pico de consumo de oxígeno durante el ejercicio está limitado por la habilidad del sistema respiratorio y cardiovascular para proporcionar oxígeno al músculo esquelético, y la habilidad del músculo esquelético de utilizar el oxígeno proporcionado.

El consumo de oxígeno máximo de la atmósfera al consumo por el músculo está limitado por el valor máximo de uno o más de los siguientes factores:

1. Ventilación Pulmonar
2. Difusión Pulmonar
3. Gasto Cardíaco
4. Flujo de Sangre del Músculo
5. Uso del Oxígeno en la fibra del músculo

Algunos de estos factores, como el gasto cardíaco máximo y el uso de oxígeno máximo en la fibra del músculo se pueden incrementar con un entrenamiento apropiado.

La ventilación pulmonar aumenta linealmente con la intensidad del trabajo durante un ejercicio suave o moderado, y es un aumento más abrupto en ejercicios más intensos. La ventilación pulmonar, o volumen respiratorio minuto, es el volumen del aire movido dentro y fuera del sistema respiratorio en un minuto. Es el producto del Volumen tidal, el cual es el volumen de aire movido dentro y fuera del sistema respiratorio en cada respiración, y la frecuencia de respiración, la cual es el número de respiraciones por minuto. Durante el ejercicio dinámico, incrementos del volumen tidal y la frecuencia de respiración contribuyen al incremento de la ventilación. El incremento de la ventilación mantiene la presión parcial del oxígeno y la saturación de la hemoglobina sin cambios en la presión arterial en incluso ejercicios de más intensidad. Debido al ejercicio dinámico moderado, el incremento de la ventilación también mantiene la frecuencia de excreción del dióxido de carbono que concuerda con el aumento de la frecuencia de producción del dióxido de carbono en el músculo esquelético activo, ayudando a mantener el pH de la sangre entre los límites normales.

Las respuestas cardiovasculares a ejercicios dinámicos incluyen el aumento del gasto cardíaco, aumentando la media de la presión arterial, aumentando el músculo esquelético y flujo sanguíneo arterial coronario y disminuyendo el flujo sanguíneo en los riñones, piel y vísceras abdominales.

El ejercicio dinámico aumenta la actividad neural simpática y disminuye la actividad neural parasimpática. El aumento de flujo nervioso simpático aumenta la frecuencia cardíaca y la contractilidad cardíaca, lo que aumenta el volumen sistólico. El gasto cardíaco es el producto del volumen sistólico, el volumen de sangre eyectado por latido por el ventrículo, la frecuencia cardíaca y el número de latidos por minuto. En el ejercicio dinámico, incrementa el volumen sistólico y la frecuencia cardíaca, incrementa la salida de la frecuencia cardíaca, favoreciendo una mayor aportación de sangre a los músculos esqueléticos activos.

Aumento de flujo nervioso simpático también vasoconstrictos arteriolas en el músculo esquelético, los riñones, la piel y las vísceras abdominales lo que aumenta la presión arterial media, la fuerza principal que rige la circulación sanguínea. En los músculos esqueléticos activos, los cambios químicos locales resultantes del metabolismo muscular aumentado anulan los efectos simpáticos y causan vasodilatación de las arteriolas que irrigan los músculos. La vasodilatación reduce la resistencia vascular local que, junto con el aumento de la presión arterial media y la vasoconstricción periférica en otros órganos, permite enormes incrementos en el flujo sanguíneo del músculo esquelético, lo que facilita el suministro de oxígeno y la eliminación de dióxido de carbono.

El suministro de oxígeno en un ejercicio dinámico moderado, la eliminación de dióxido de carbono y otros metabolitos de la sangre son suficientes para satisfacer las demandas metabólicas del músculo esquelético activo. Sin embargo, como la intensidad del ejercicio y duración aumentan por encima del consumo pico del 50% de oxígeno, los músculos activos consumen más oxígeno por minuto que se puede enviar a ellos a través de la sangre. El ADP y las concentraciones de fosfato inorgánico (Pi) en las fibras musculares aumentan al igual que los niveles de fosfato de creatina caen y las fibras musculares alcanzan su límite de generación aeróbicamente de ATP. Estas condiciones crean una intensa estimulación de la glicólisis, del proceso de generación anaeróbicamente de ATP y piruvato. Cuando el suministro de oxígeno al músculo esquelético es inadecuado, el piruvato se convierte en ácido láctico y se libera en la sangre. A medida que la intensidad del ejercicio aumenta, la cantidad de ácido láctico liberado aumenta causando una caída del pH de la sangre. Este proceso, conocido como acidosis láctica, es común en el ejercicio intenso. Al final de un período de ejercicio intenso y durante el período de recuperación, las fibras musculares eliminan el lactato de la sangre, convirtiéndolo de nuevo en piruvato, y oxidativamente lo metaboliza, generando y reponiendo el ATP. Una cantidad adicional de oxígeno por encima y más allá de la cantidad necesaria para mantener el metabolismo normal del músculo en reposo es necesaria para procesar el piruvato lactato derivado.

La cantidad adicional de oxígeno se refiere anteriormente como las cuentas de débito de oxígeno de la necesidad de mantener una ventilación elevada y el gasto cardíaco durante un breve período después del ejercicio.

El ejercicio aumenta la producción metabólica de calor (Fig. 15.1) y el exceso de calor debe ser disipado al ambiente externo. La temperatura central del cuerpo es controlada por el equilibrio de ganancia de calor con la pérdida de calor. Mecanismos de pérdida de calor incluyen convección, conducción, radiación y evaporación. Todos ellos implican cantidades variables de pérdida de calor por medio de la superficie de la piel o las superficies de las vías respiratorias. La forma más eficaz para eliminar el calor es utilizar el calor para evaporar líquidos en gas. El ejercicio aumenta el flujo nervioso simpático por lo tanto aumenta la producción de sudor. Mediante la excreción del sudor, el calor producido durante el ejercicio y transportado a la piel puede ser utilizado para evaporar el sudor, la eliminación de calor, y enfriando la sangre.

En esta lección, observaremos y registraremos los cambios en la temperatura de la piel asociados con los niveles moderados de ejercicio dinámico. Registrando cambios en el flujo respiratorio y la frecuencia cardíaca, podemos obtener una apreciación de algunos de los ajustes cardiovasculares y respiratorios que ocurren durante el ejercicio dinámico moderado.