



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA
SECRETARÍA DE SALUD
INSTITUTO NACIONAL DE REHABILITACIÓN
ESPECIALIDAD EN:
MEDICINA DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTIVA

“EFECTO DEL BICARBONATO DE SODIO EN LA DISMINUCIÓN DE LA
PERCEPCIÓN DEL DOLOR MUSCULAR DE APARICIÓN TARDÍA
POSTERIOR A UNA SESIÓN DE EJERCICIO DE ALTA INTENSIDAD”

T E S I S
PARA OBTENER EL GRADO DE MÉDICO
ESPECIALISTA EN

MEDICINA DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTIVA

PRESENTA:
M.C. GUILLERMO AZCONA ROMO

PROFESOR TITULAR
M.E. JOSÉ CLEMENTE IBARRA PONCE DE LEÓN

PROFESOR ADJUNTO
M.E. JOSÉ GILBERTO FRANCO SANCHEZ

ASESORES DE TESIS
M.E. JOSÉ GILBERTO FRANCO SÁNCHEZ
MTRO. GERARDO RODRÍGUEZ REYES



MÉXICO, D.F. ENERO DEL 2010



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DRA. MATILDE L. ENRÍQUEZ SANDOVAL
DIRECTORA DE ESEÑANZA

DRA. XOCHIQUETZAL HERNÁNDEZ LÓPEZ
SUBDIRECTORA DE POSTGRADO Y EDUCACIÓN
CONTINUA

DR. LUIS GÓMEZ VELÁZQUEZ
JEFE DE ENSEÑANZA MÉDICA

M.E. JOSÉ CLEMENTE IBARRA PONCE DE LEÓN
PROFESOR TITULAR

M.E. JOSE GILBERTO FRANCO SÁNCHEZ
PROFESOR ADJUNTO
ASESOR CLÍNICO

MTRO. GERARDO RODRÍGUEZ REYES
ASESOR METODOLÓGICO

TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....1

1 Antecedentes

1.1 Ejercicio y lactato2

1.2 Equilibrio ácido-base y percepción del dolor4

1.3 Dolor muscular de aparición tardía5

1.4 Evaluación del DOMS6

1.5 Tratamiento del DOMS6

1.6 Bicarbonato de sodio.....7

2 Planteamiento del Problema8

3 Justificación9

4 Objetivos

4.1 General.....10

4.2 Particulares10

5 Hipótesis11

6 Desarrollo Experimental

6.1 Diseño experimental12

6.2 Definición de la población12

6.3 Metodología13

6.4 Estadística

 6.4.1 Definición de variables15

 6.4.2 Descriptiva15

 6.4.3 Inferencial para prueba de Hipótesis15

7 Resultados	
7.1 Población	16
7.2 Percepción del dolor	16
7.3 Correlaciones	18
7.4 Efectos adversos.....	19
8 Discusión	21
9 Conclusiones	23
10 Bibliografía	24
11 . ANEXO 1 Carta de consentimiento informado	27
12 ANEXO 2 Ejercicios de estiramiento	28

DEDICATORIA

ESTA TESIS ESTÁ DEDICADA A TODAS LAS PERSONAS QUE HAN ESTADO A MI LADO A LO LARGO DE MI VIDA Y QUE CON SU APOYO INCONDICIONAL HAN SIDO PARTE FUNDAMENTAL PARA MI DESARROLLO PERSONAL Y PROFESIONAL.

A MIS PADRES, POR DARMEN EL EJEMPLO DE TRABAJO DURO Y HONESTO EN TODO MOMENTO, A MI NOVIA POR SER LA FUENTE DE INSPIRACIÓN Y MOTIVACIÓN PARA SUPERARME CADA DÍA MAS Y A MIS AMIGOS POR ESTAR CONMIGO EN LAS BUENAS Y EN LAS MALAS.

“SI QUIERES SER SABIO, APRENDE A INTERROGAR RAZONABLEMENTE, A ESCUCHAR CON ATENCIÓN, A RESPONDER SERENAMENTE Y A CALLAR CUANDO NO TENGAS NADA QUE DECIR.”
JOHANN KASPAR LAVATER

AGRADECIMIENTOS

AGRADEZCO A MI PROFESOR TITULAR, EL DR. JOSÉ CLEMENTE IBARRA, A EL DR. JOSÉ GILBERTO FRANCO SÁNCHEZ, MI PROFESOR ADJUNTO Y ASESOR CLÍNICO DE LA TESIS, A EL ING. GERARDO RODRÍGUEZ REYES, ASESOR METODOLÓGICO DE LA TESIS, POR SU APOYO INCONDICIONAL DURANTE EL DESARROLLO DE MI TESIS Y DURANTE MI CURSO DE ESPECIALIDAD.

TAMBIÉN AGRADEZCO A TODO EL PERSONAL ADSCRITO AL SERVICIO DE MEDICINA DEL DEPORTE DEL INR, ASÍ COMO A MIS COMPAÑEROS RESIDENTES, POR HABER SIDO PARTE FUNDAMENTAL EN MI FORMACIÓN PROFESIONAL.

RESUMEN

El metabolismo anaeróbico es el principal responsable de proveer energía cuando el ejercicio se realiza por arriba de una intensidad del 85 %. Esto resulta en la producción acelerada de ácido láctico, el cuál se acumula en la sangre y en el músculo.

Recientemente han sido ampliamente estudiados los canales de potasio, de los cuales el más estudiado es el TREK1. La inactivación de los canales TREK 1 es gradualmente inhibida por acidosis intracelular. Resultados de diferentes estudios, sugieren que TREK1 controla la excitabilidad de los nociceptores, probablemente oponiéndose a la despolarización que resulta de la apertura de canales potenciales por receptores no selectivos transitorios. Así, TREK-1 es un blanco atractivo para los analgésicos farmacológicos.

El dolor muscular de aparición tardía (DOMS por sus siglas en inglés) ocurre posterior a realizar actividad física de intensidad elevada cuando los músculos no están habituados a realizar esta última. De los tratamientos propuestos, únicamente el uso de AINES ha dado buenos resultados.

El objetivo de este estudio fue evaluar la efectividad de la administración vía oral de bicarbonato de sodio en la prevención o disminución del dolor muscular de aparición tardía posterior a una sesión de ejercicio isotónico de alta intensidad.

METODOLOGÍA: Estudio clínico, controlado, prospectivo, comparativo de preprueba-postprueba. Al ser un estudio exploratorio se incluyeron a 30 pacientes, sedentarios, de ambos sexos, los cuáles realizaron una rutina de ejercicio isotónico de alta intensidad (4 series de 8 repeticiones al 85% de 1RM en los aparatos curl de pierna, press de pierna, leg extension). A las 24, 48 y 72 hrs. se evaluó el DOMS mediante la EVA y la escala de Likert para DOMS. Se les indicó no realizar ningún ejercicio y se citaron nuevamente a las 3 semanas. Realizaron nuevamente la misma rutina de ejercicio e inmediatamente al terminar se les dio a beber 300mg/kg de peso disueltos en 500ml de agua. A las 24, 48 y 72 hrs nuevamente se valoró el DOMS mediante las mismas escalas. **RESULTADOS:** Se encontró reducción significativa del dolor muscular de aparición tardía a las 24, 48 y 72 hrs. de realizar el ejercicio isotónico de alta intensidad tanto en la escala visual análoga como en la escala de Likert para DOMS.

CONCLUSIONES: 300mg/kg de peso de bicarbonato de sodio disuelto en 500ml de agua por vía oral inmediatamente al terminar una sesión de ejercicio isotónica de alta intensidad, es efectivo para disminuir el dolor muscular de aparición tardía en pacientes sedentarios de 18 a 30 años de edad.

1.-ANTECEDENTES

1.1.- Ejercicio y lactato

Al realizar ejercicio, el predominio de los diferentes sistemas energéticos varía dependiendo de la intensidad del mismo. El metabolismo anaeróbico es el principal responsable de proveer energía cuando el ejercicio se realiza por arriba de una intensidad del 85 %. Esto resulta en la producción acelerada de ácido láctico, el cual se acumula en la sangre y en el músculo. (1) La vía por la cual se genera principalmente el lactato es la glucólisis y consiste en una sucesión invariable de 11 reacciones bioquímicas específicamente catalizadas y reguladas por enzimas. La Figura 1 describe el proceso de degradación glucolítica (oxidación) hasta ácido pirúvico (piruvato) y la reducción de este último a lactato. Este proceso de producción de piruvato mediante la degradación de glucosa, que tiene lugar en el citoplasma celular, libera parte de la energía contenida en los enlaces químicos de las moléculas de este glúcido, que puede aprovecharse para efectuar el trabajo químico necesario para la incorporación de fosfato a moléculas de ADP mediante enlaces altamente energéticos, formándose ATP, sustancia que permite almacenar energía de reserva, para su utilización ulterior en la producción de trabajos biológicos diversos. Este mecanismo puede considerarse como una forma de generación de ATP citoplasmático, complementariamente de los procesos que también lo producen en las mitocondrias (el Ciclo de Krebs, que aprovecha precisamente el piruvato producido en la glucólisis, y la cadena respiratoria, que aprovecha el Hidrógeno cedido por la glucosa durante su degradación). Puede observarse, por consiguiente, que existen dos rutas metabólicas principales para las transformaciones que puede sufrir el piruvato: oxidarse total e irreversiblemente a CO₂ y H₂O participando en el ciclo de Krebs (iniciando una vuelta del mismo acoplándose a la coenzima A para formar acetil-coenzima A), o reducirse parcial y reversiblemente a lactato.

La figura 2 muestra que si la velocidad glucolítica es baja (aeróbica) como para permitir un trabajo mitocondrial eficiente, el piruvato y el NADH formados, se oxidan fácilmente, no formándose predominantemente lactato, pero si la glucólisis es rápida (anaeróbica) y si la función mitocondrial es inadecuada (baja actividad enzimática o pobre aporte de O₂), se forma predominantemente lactato.

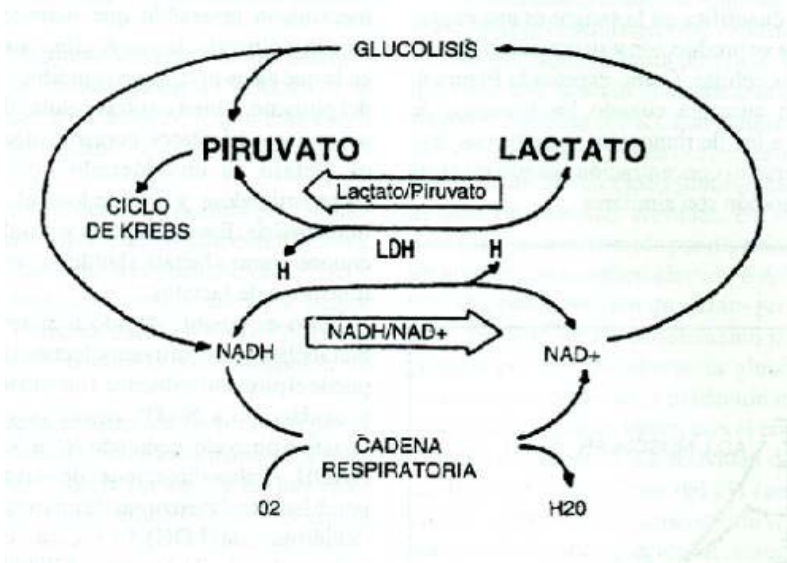


Fig.1 Degradación glucolítica (tomada de referencia 28)

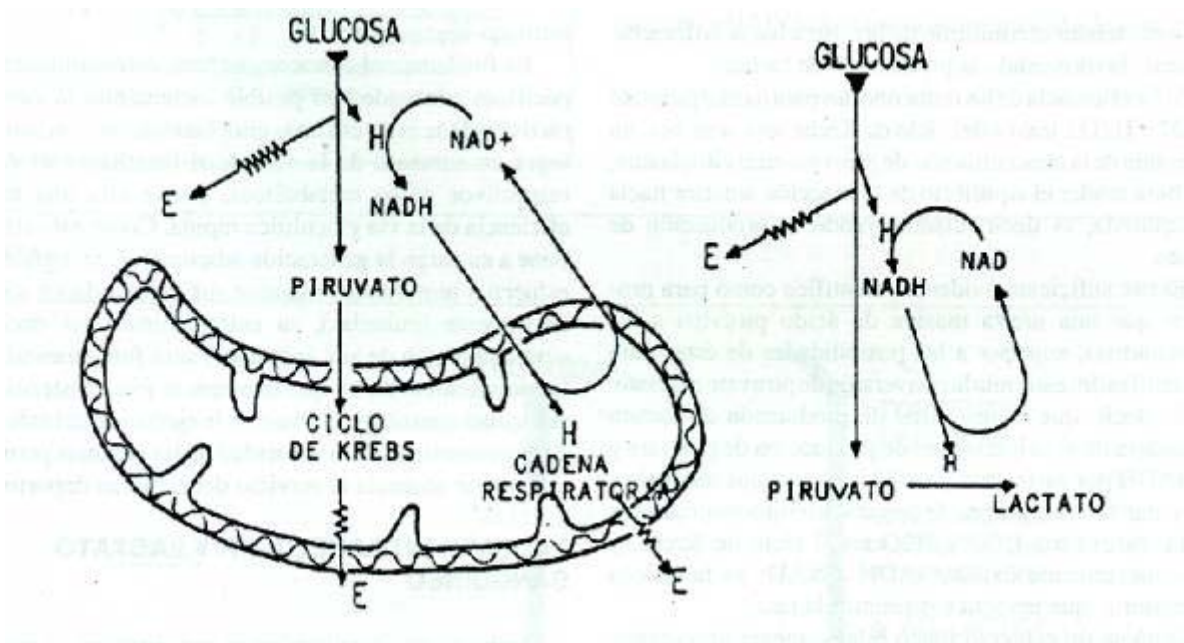


Fig. 2 Ilustración del Efecto Pasteur (tomada de referencia 28)

Aunque la producción de ácido láctico es igual en personas entrenadas y no entrenadas, se ha visto que con el entrenamiento a alta intensidad, se aumenta la capacidad del músculo para expulsar el lactato y los H⁺ hacia el espacio intersticial (2). Esto es principalmente por un aumento en el número de monocarboxilatos transportadores MCT1 y MCT4 intramusculares con tan solo 6 días de entrenamiento. Estos últimos transportan el lactato a través de la membrana celular y lo llevan al plasma (3).

Davis (1985), ofreció una definición del Umbral Anaeróbico (U.ANA.) determinándolo como la intensidad de ejercicio o de consumo de oxígeno (VO_2) más allá de la cual el ácido láctico comienza a acumularse en la sangre desencadenando una acidosis metabólica. (4).

Como consecuencia del aumento del ácido láctico, el pH en el plasma puede caer hasta 0.34 en la recuperación del ejercicio, pero debido a la compensación respiratoria, solo es de 0.25.

1.2.- Equilibrio ácido-base y percepción del dolor.

Recientemente han sido ampliamente estudiados los canales de potasio, de los cuales el más estudiado es el TREK1. La activación de estos canales es dependiente de voltaje. En el humano están localizados principalmente en cerebro, en el núcleo caudado, putamen, corteza prefrontal, hipotálamo e hipocampo. También se encuentran en tejidos periféricos.

TREK 1 está localizado junto con los canales potenciales transitorios receptores no selectivos para la capsaicina, y pueden ser abiertos por estímulos nociceptivos.

La inactivación de los canales TREK 1 es gradualmente inhibida por acidosis intracelular. Al bajar el pH interno, se cambia la relación presión-activación a unos valores de presión positivos y posteriormente deja la apertura del canal a presión atmosférica, convirtiéndolo de un canal de puente mecánico en uno activo constitutivamente que deja fugar más K^+ , dejando una carga residual negativa en el dominio proximal de la terminal-C, la cuál actúa como un sensor de protones.

Remover esta carga negativa por protonación es fundamental para la regulación de la apertura por cambios en el pH de TREK1.

Estos canales también se abren durante isquemia química y por lípidos intracelulares(6).

En ratones está probado que los que expresan este gen, son más sensitivos que los que no lo hacen. Resultados de diferentes estudios, sugieren que TREK1 controla la excitabilidad de los nociceptores, probablemente oponiéndose a la despolarización que resulta de la apertura de canales potenciales por receptores no selectivos transitorios.

Así, TREK-1 es un blanco atractivo para los analgésicos farmacológicos.(7)

1.3 Dolor muscular de aparición tardía

El dolor muscular de aparición tardía (DOMS por sus siglas en inglés) ocurre posterior a realizar actividad física de intensidad elevada cuando los músculos no están habituados a realizar esta última (8) y su presentación inicia de las 12 a las 24 hrs después de haber realizado esta actividad, teniendo su grado máximo a las 24-72 hrs para disminuir y ceder en 3 a 7 días (8,9).

Los individuos que experimentan DOMS reportan rigidez, inflamación, reblandecimiento, pérdida de fuerza muscular (10) y presentan mayor riesgo de sufrir alguna lesión (16), aunque el DOMS parece no afectar el rendimiento aeróbico medido mediante VO₂máx (13)

Existen varias teorías para explicar los mecanismos de instalación de DOMS. Es conocido que el trabajo excéntrico es más probable que cause DOMS que el concéntrico o isométrico (10), y la intensidad del esfuerzo juega un importante papel a pesar del tipo de contracción (11).

Los músculos involucrados muestran evidencia de daño en la fibra y membrana muscular así como reacciones inflamatorias en las mismas, todo este daño altera los sistemas sensoriales del músculo(14), incrementa las descargas aferentes en los receptores sensoriales del músculo (15) activándose los receptores de dolor tipo III y IV (19) y se registra centralmente como percepción de DOMS sin embargo ninguno de esas respuestas comparten un tiempo de curso o intensidad con el dolor. El daño muscular incluye disrupción del sarcolema, túbulos T, miofibrillas, proteínas del citoesqueleto y retículo sarcoplásmico (17). El daño al retículo sarcoplásmico es particularmente problemático debido a que causa un imbalance iónico debido a que activa la calpaina, una enzima que degrada las proteínas musculares (18).

Con esto, el mecanismo exacto de DOMS aún permanece poco claro.

Otros estudios encontraron que cuando los individuos presentan DOMS, las concentraciones de lactato en sangre son más elevadas, sin embargo la relación directa entre estos dos factores aún no es bien entendida(12). Una de las causas posibles podría ser la disminución del pH producida por el aumento en el ácido láctico, lo que conlleva a un aumento en la percepción del dolor por los mecanismos antes explicados.

1.4.- Evaluación del DOMS

Existen varios métodos para medir la intensidad de DOMS, sin embargo los más usados son a través de la escala visual análoga (EVA) y mediante la escala de Likert para DOMS en miembros inferiores. Esta última ha sido usada en la literatura, mostrando sensibilidad similar y parece ser más fácil de entender que la EVA (24), sin embargo no está validada para la población mexicana. En la tabla 1 se describen las características de los 7 grados que toma en cuenta la escala de Likert para DOMS en miembros inferiores. Esta escala se aplica de manera oral o escrita al paciente, permitiéndole leer o escuchar el enunciado correspondiente a cada grado de la escala, siendo el valor de 0 indicativo de ausencia de DOMS y un valor máximo de 6 indicativo de dolor severo que limita la habilidad para el movimiento. En caso de que se tengan varios síntomas de la escala, se toma en cuenta el que corresponda al valor más alto dentro de la misma.

TABLA 1 Descripción de los valores de la escala de Likert para DOMS en miembros inferiores. (Tomada de referencia 24)

0 Completa ausencia de DOMS
1 Ligero dolor sentido únicamente cuando se toca/ un dolor vago
2 Moderado dolor solamente cuando se toca/ dolor persistente ligero
3 Ligero dolor cuando se sube o baja escaleras
4.Ligero dolor cuando se camina en superficie plana/doloroso
5 Moderado dolor, rigidez o debilidad cuando se camina / muy doloroso
6 Severo dolor que limita mi habilidad para moverme

1.5.- Tratamiento del DOMS.

Se han propuesto diversas estrategias para prevenir o disminuir el DOMS. El masaje aplicado 2 horas posterior al ejercicio que produce daño muscular no ha mostrado mejoría en cuanto a función muscular, valorada ésta última mediante medición de la fuerza, pero si mostró disminución del dolor a las 48 horas del ejercicio (20). El estiramiento antes y después del ejercicio no previene ni mejora los síntomas de DOMS (21). También se ha tratado de mejorar la sintomatología mediante ingesta de aceites de

pescado e isoflavonoides, los cuáles se ha demostrado tener propiedades anti-inflamatorias, sin embargo no se mostró mejoría en comparación con el grupo control. (22). El uso de AINES se ha empleado ampliamente, siendo el ketoprofeno transdérmico el que mejores resultados ha mostrado, incluso sin efectos adversos gastrointestinales, sin embargo el estudio se realizó en pacientes sin enfermedad gastrointestinal, por lo que sería conveniente observar sus efectos en pacientes con este tipo de enfermedades (23).

1.6.- Bicarbonato de sodio

En el organismo existen diferentes sistemas de amortiguación para la regulación del pH. Se dividen en sistemas de amortiguación de bicarbonato y de no bicarbonato (fosfatos y algunas proteínas). Sin embargo, el principal sistema de amortiguación en los sistemas biológicos es el bicarbonato. (5).

El bicarbonato de sodio es un compuesto sólido cristalino de color blanco muy soluble en agua, con un ligero sabor alcalino parecido al del carbonato de sodio, de fórmula NaHCO_3 . Se puede encontrar como mineral en la naturaleza o se puede producir artificialmente. Cuando se expone a un ácido moderadamente fuerte se descompone en dióxido de carbono y agua. La dosis letal es de 4000mg/ kg de peso.

Es utilizado como antiácido con una dosis inicial de 4g seguida por 1-2g cada 4 hrs. si es necesario. También es usado para tratar la acidosis metabólica.

En el ámbito deportivo, el bicarbonato de sodio ha sido ampliamente estudiado con resultados favorables principalmente para prevenir, disminuir o retrasar la fatiga muscular causada por la acumulación de H^+ (25). La dosis vía oral utilizada que ha mostrado efectos positivos para prevenir la fatiga fue de 150 a 300 mg/kg de peso corporal. Entre los efectos secundarios reportados se encuentran náuseas, vómito, diarrea, cefalea, distensión abdominal y dolor tipo cólico (25,27).

2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Cuando se inicia un programa de actividad física, una gran parte de la población se auto prescribe el ejercicio, sin tomar en cuenta las características de la carga de entrenamiento y en muchos de los casos sobrecargando los sistemas energéticos. Con esto se genera dolor muscular de aparición tardía, lo que contribuye en gran medida al abandono de los programas iniciales de actividad física y los programas de fortalecimiento para la rehabilitación de lesiones, afectando de este modo la salud de la población.

3.-JUSTIFICACIÓN

Al prevenir o disminuir el dolor muscular de aparición tardía mediante la administración de bicarbonato de sodio vía oral, la continuidad de los programas de ejercicio podría ser mayor, incidiendo de manera positiva en la salud de la población que tiene un programa de ejercicio controlado por un profesional, ya sea médico del deporte o licenciado en entrenamiento deportivo.

4.-OBJETIVOS

4.1.- General:

Evaluar la efectividad de la administración vía oral de bicarbonato de sodio en la prevención o disminución del dolor muscular de aparición tardía posterior a una sesión de ejercicio isotónico de alta intensidad.

4.2.- Particulares:

- * Evaluar si la rutina de ejercicio propuesta es suficiente para provocar DOMS

- * Describir los efectos adversos de la administración de 300mg/kg de peso de bicarbonato de sodio posterior a realizar ejercicio isotónico de alta intensidad.

- * Comparar la escala visual análoga con la escala de Likert para DOMS y evaluar la correlación que estas tienen.

5.- HIPÓTESIS

La administración en dosis única de 300mg/kg de peso de bicarbonato de sodio vía oral inmediatamente después de terminar la sesión de ejercicios isotónicos de alta intensidad, previene o disminuye el dolor muscular de aparición tardía comparado con únicamente reposo.

6.- DESARROLLO EXPERIMENTAL

6.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

Estudio clínico, controlado, prospectivo, comparativo de preprueba-postprueba

6.2.-DEFINICIÓN DE LA POBLACIÓN

6.2.1.-CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Edad: 18-30 años

Ambos sexos

Sedentarios

Asintomáticos

Que no tome analgésicos

Sin antecedentes de haber realizado ejercicio de manera regular en los últimos 6 meses

6.2.2.-CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

Presencia de contraindicaciones absolutas para la práctica del ejercicio de acuerdo a lo establecido por el Colegio Americano de Medicina Deportiva.

Pacientes con impedimentos para administración de bicarbonato de sodio.

6.2.3.-CRITERIOS DE ELIMINACIÓN

Paciente que presente lesión muscular durante la realización de la rutina de ejercicio y no pueda completar esta última.

Paciente que no ingiera los 300mg/kg de peso, disueltos en 500 ml de agua o que presente vómito en las 2 horas inmediatas posterior a la sesión de entrenamiento.

Pacientes que no acudan o que no puedan ser contactados de manera telefónica para aplicación de escala de EVA y de Likert para DOMS a las 24, 48 y 72 horas de la realización del ejercicio.

6.2.4.-TAMAÑO DE LA MUESTRA

Debido a que este estudio es exploratorio se incluyeron a 30 pacientes y a partir de los resultados obtenidos se podrá calcular el tamaño de muestra real para estudios subsecuentes.

6.3.- METODOLOGÍA

- 1.- Los pacientes fueron captados a través del servicio de medicina del deporte.
- 2.- A todos los pacientes se les realizó una historia clínica completa para descartar alguna enfermedad, problema biomecánico, impedimento para hacer ejercicio, verificar y coordinar que los pacientes de género femenino no presentaran síndrome pre-menstrual o menstrual al momento de la realización de las rutinas de ejercicio, así como para conocer antecedentes deportivos, y corroborar que cumplieran con los criterios de inclusión.
- 3.- A todos los pacientes se les dio una explicación del protocolo y la aceptación para poder participar en el mismo fue a través de la firma de la carta de consentimiento informado (anexo 1).
- 4.- A todos los pacientes se les realizó prueba de fuerza para determinar su 1RM (en esta prueba se levanta el máximo peso posible en los aparatos necesarios con el objetivo de realizar una repetición máxima para determinar así la intensidad máxima de trabajo muscular, tomarla como el 100% de la carga y partir de ahí prescribir el ejercicio a las intensidades requeridas) de acuerdo a lo establecido por el Colegio Americano de Medicina del Deporte, para fuerza de extensión y flexión de rodilla en los aparatos de poleas marca Cybex; leg extension, press de pierna y curl de pierna.
- 5.- A los tres días de realizar las pruebas 1RM, los pacientes fueron citados para realizar la rutina de ejercicio al 85% de intensidad descrita a continuación:

DESCRIPCIÓN DE LA RUTINA DE EJERCICIO

Todos los pacientes cumplieron con la siguiente rutina de ejercicio:

- 5.1.- Iniciaron con calentamiento de 5 minutos en bicicleta fija al 50% de su frecuencia cardíaca máxima teórica.
- 5.2.- Posteriormente realizaron estiramiento de miembros inferiores por 3 minutos (anexo 2).
- 5.3.- En el aparato “leg extension” realizaron 4 series de 8 repeticiones al 85% de 1RM, realizando ejercicio isotónico de extensión de rodilla, con 40 segundos de recuperación entre cada serie. Posterior a 1 minuto de descanso, en el aparato

“press de pierna” realizaron 4 series de 8 repeticiones al 85% de 1RM realizando ejercicio isotónico de flexión y extensión de rodilla, con 40 segundos de recuperación entre cada serie. Finalmente posterior a un minuto de descanso realizaron 4 series de 8 repeticiones al 85% de 1RM en el aparato “curl de pierna”, realizando ejercicio isotónico de flexión de rodilla, con 40 segundos de recuperación entre cada serie.

5.4.- No se realizaron estiramientos ni enfriamiento posterior.

5.5 Al terminar la rutina se les pidió no realizar ninguna actividad física fuera de lo habitual ni ingerir ningún medicamento o bebidas carbonatadas.

6.- Los pacientes fueron citados a las 24, 48 y a las 72 hrs. de concluir la rutina de ejercicio para determinar el grado de DOMS mediante la escala de EVA y de Likert y para preguntar si durante las 72hrs posteriores al ejercicio existió algún evento que afectara de manera emocional al paciente.

7.- Se les pidió continuar con sus actividades cotidianas sin realizar ningún ejercicio físico fuera de lo normal y fueron citados nuevamente a las 4 semanas para realizar la misma rutina de ejercicio. Inmediatamente al terminar esta, se les dio a beber una solución de 300mg/kg de peso de bicarbonato de sodio disuelta en 500ml de agua, con indicación de ser ingerida dentro del periodo de 1 hora. El bicarbonato de sodio administrado fue Bicarbonato de Sodio U.S.P, y cuenta con el debido certificado de análisis de pureza. La solución fue preparada por el investigador con las debidas medidas higiénicas, en el lugar en que se realizó la rutina de ejercicio. La cantidad de bicarbonato de sodio fue pesada en una balanza analítica de laboratorio marca CTR semi-micro Serie GR debidamente calibrada y el agua utilizada fue embotellada.

8.- Los pacientes fueron citados nuevamente a las 24, 48 y a las 72 hrs. de concluir la rutina de ejercicio para determinar el grado de DOMS mediante la escala de EVA y de Likert para DOMS y para preguntar si durante las 72hrs posteriores al ejercicio existió algún evento que afectara de manera emocional al paciente.

6.4.-ESTADÍSTICA

6.4.1 Descripción de variables:

Dependiente: Escala de EVA y de Likert para DOMS

Independiente: Administración de Bicarbonato de sodio

6.4.2 DESCRIPTIVA:

De los datos obtenidos se calcularon la media, desviación estándar e intervalo de confianza.

6.4.3 INFERENCIAL PARA PRUEBA DE HIPÓTESIS (No Paramétrica)

Nivel de significancia menor o igual a 0.05 para un intervalo de confianza del 95%.

Se evaluó el efecto del tratamiento sobre DOMS mediante el análisis por estadística no paramétrica de la prueba de los signos de Wilcoxon a partir de los resultados obtenidos en la escala de Likert y T de student a partir de los resultados obtenidos en la escala de EVA.

Para determinar el grado de correlación entre la escala visual análoga y la escala de Likert para DOMS se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman.

Se utilizó el software SPSS 12.0 para realizar el análisis estadístico.

7. RESULTADOS

7.1 POBLACIÓN.

Se obtuvieron resultados de 30 pacientes sanos que se evaluaron en el servicio de Medicina del Deporte del INR, de los cuales 15 fueron hombres y 15 mujeres con un promedio de edad de 24.57 (± 3.98). (Tabla 2).

TABLA 2. Población. 30 pacientes .

CARACTERISTICAS	
Género	15 H 15 M
PROMEDIO DE EDAD (años)	24.57 \pm 3.98 (máx 30 - min 19)
Peso	69.77 \pm 15.07 (máx 104.5 – min 46.7)

Valores promedio \pm Desv. estándar

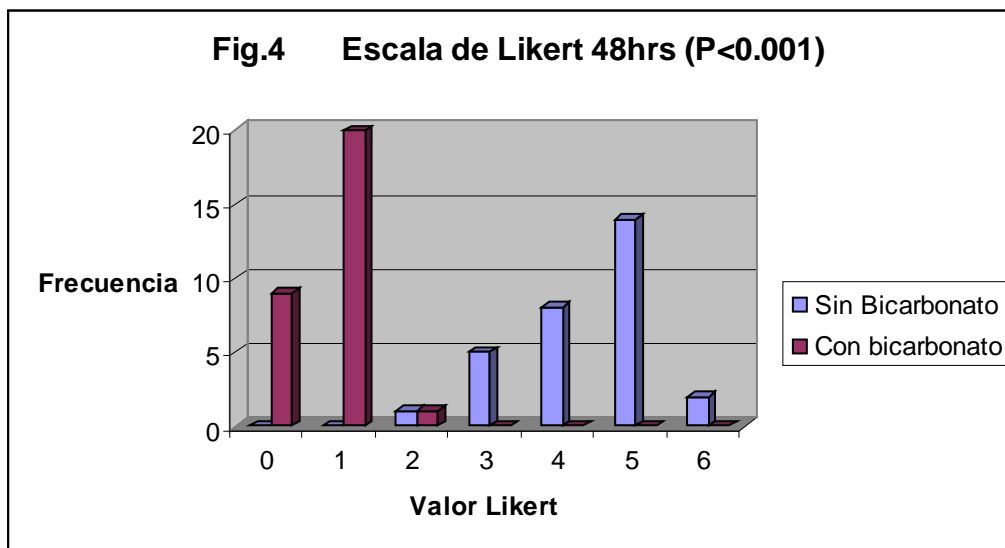
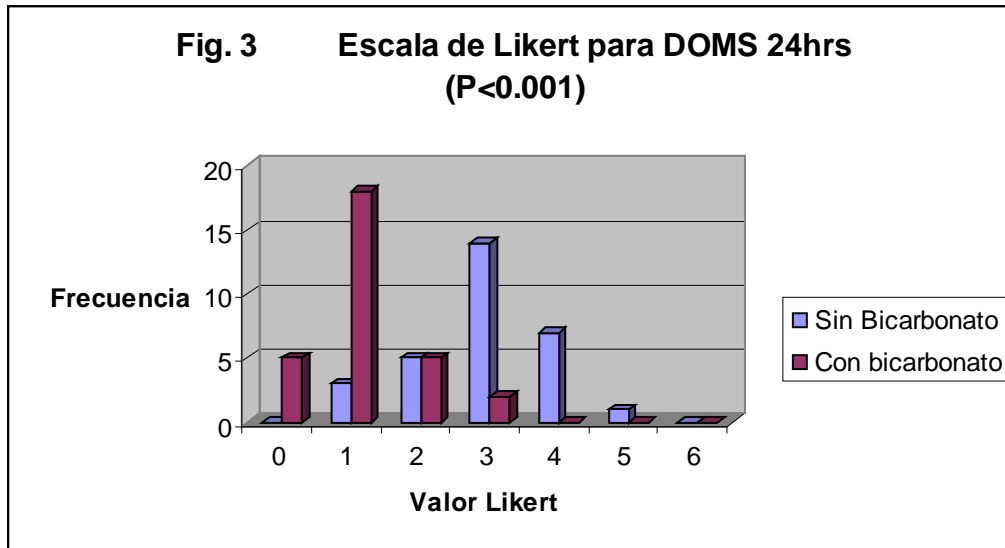
7.2 PERCEPCIÓN DEL DOLOR

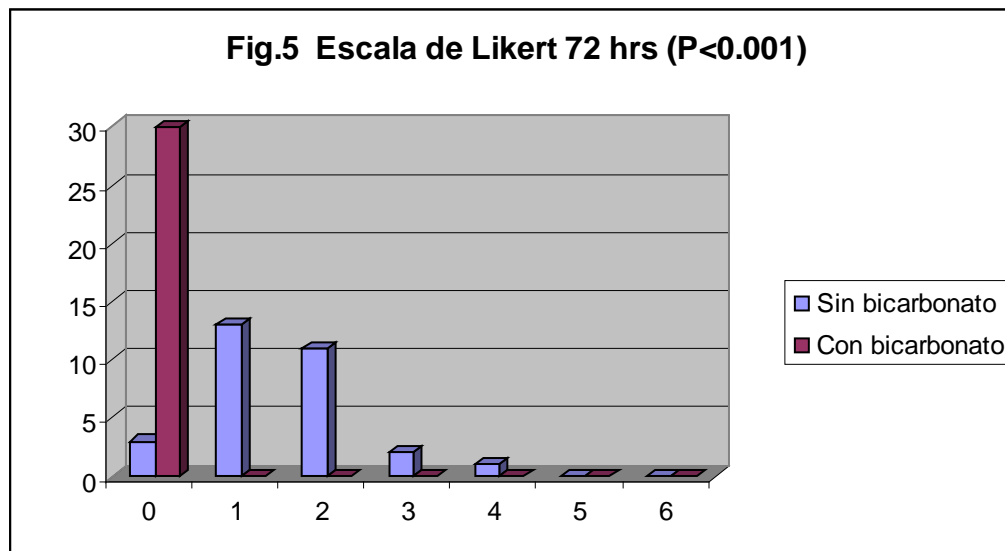
De la comparación de dolor valorados en la escala visual análoga los resultados mostraron un cambio significativo ($P < 0.001$) a las 24, 48 y 72 hrs (tabla 3).

TABLA 3. Comparación de los valores Promedio de Escala Visual Análoga con y sin Bicarbonato.

	Sin Bicarbonato	Con Bicarbonato	P
EVA 24hrs	3.967 (± 1.066)	2 (± 0.694)	< 0.001
EVA 48hrs	6.0 (± 1.364)	1.73 (± 0.520)	< 0.001
EVA 72hrs	2.433 (± 0.897)	1 (± 0.00)	< 0.001

De la comparación del grado de los síntomas de DOMS en la escala de Likert los resultados mostraron un cambio significativo ($P < 0.001$) a las 24, 48 y 72 hrs. (figura 3, 4 y 5).





Al hacer la división por género, los resultados en la escala visual análoga mostraron cambios significativos ($P < 0.001$ para ambos sexos) (tabla 5 y 6).

TABLA 5. Comparación de los valores promedio de EVA con y sin bicarbonato para género masculino

	Sin Bicarbonato	Con Bicarbonato	P
EVA 24hrs	3.667 (± 0.723)	2.067 (± 0.593)	<0.001
EVA 48hrs	6.2 (± 0.9411)	1.867 (± 0.516)	<0.001
EVA 72 hrs	2.333 (± 0.723)	1	<0.001

TABLA 6. Comparación de los valores promedio de EVA con y sin bicarbonato para género femenino

	Sin Bicarbonato	Con Bicarbonato	P
EVA 24hrs	4.267 (± 1.277)	1.933 (± 0.798)	<0.001
EVA 48hrs	5.8 (± 1.698)	1.6 (± 0.507)	<0.001
EVA 72 hrs	2.533 (± 1.060)	1	<0.001

De igual forma, al realizar la división por género, los resultados en la escala de Likert mostraron cambios significativos ($P < \alpha = 0.001$).

7.3.- CORRELACIONES

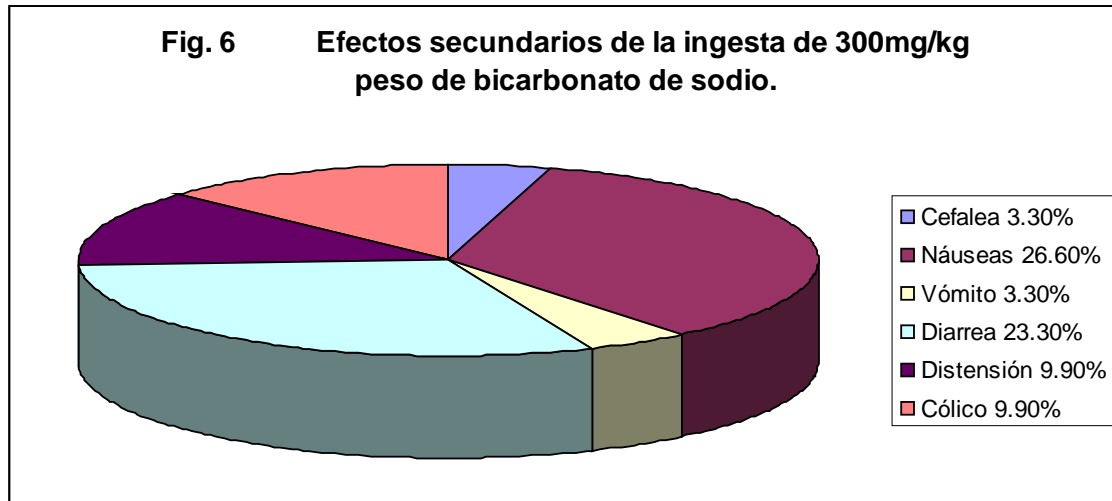
Al realizar la correlación entre la escala visual análoga y la escala de Likert para DOMS se mostró una correlación alta para todas las comparaciones (tabla 7).

TABLA 7. Correlación entre EVA y escala de Likert para DOMS

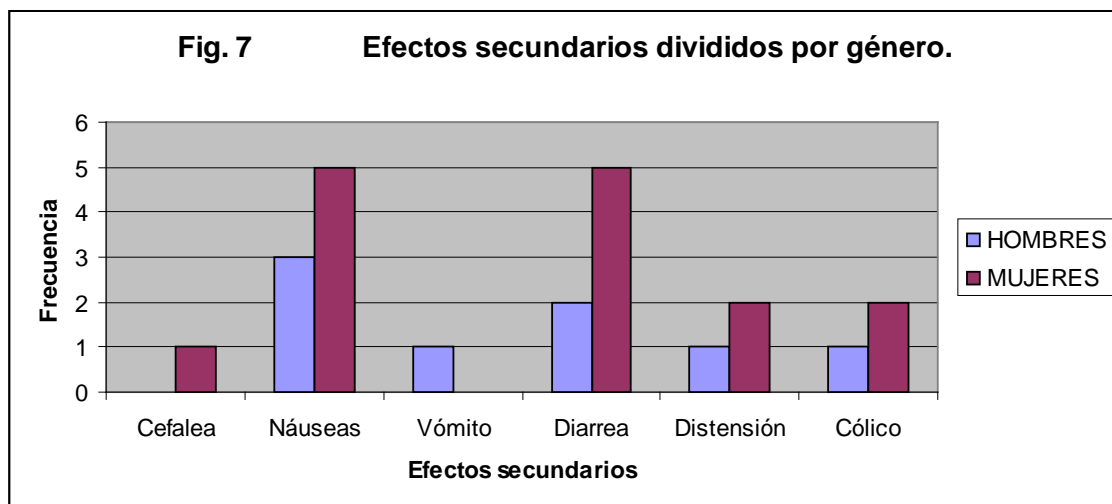
	rho	P
EVA 24hrs – Likert 24 hrs	1.00	<0.001
EVA 48 hrs- Likert 48hrs	0.922	<0.001
EVA 72 hrs- Likert 72hrs	0.932	<0.001
EVA c/ Bicarbonato 24 hrs - Likert c/ Bicarbonato 24hrs	0.891	<0.001
EVA c/ Bicarbonato 48hrs – Likert c/ Bicarbonato 48hrs	0.862	<0.001
EVA c/ Bicarbonato 72hrs – Likert c/ Bicarbonato 72hrs	1.00	<0.001

7.4.- EFECTOS ADVERSOS

La dosis de bicarbonato de sodio utilizada provocó por lo menos un efecto secundario en el 36% de los pacientes, siendo más común en las mujeres (38%) que en hombres (34%). Los efectos secundarios se enumeran en la figura 6.



La gráfica 7 muestra los efectos secundarios divididos por género.



8.- DISCUSIÓN

Este estudio muestra una marcada tendencia de que en pacientes sedentarios de 18 a 30 años de edad, la administración oral inmediatamente después de realizar ejercicio isotónico de alta intensidad de 300mg por kilogramo de peso de bicarbonato de sodio disuelto en 500ml de agua, es efectiva para disminuir o evitar el dolor muscular de aparición tardía.

Al agrupar a los pacientes por género, tanto hombres como mujeres tuvieron disminución significativa del dolor a las 24, 48 y 72 horas posterior a la ingesta del bicarbonato.

El DOMS ha sido ampliamente estudiado sin llegar aún a un acuerdo respecto al mecanismo que lo ocasiona. De igual forma, de las diferentes opciones de tratamiento propuestas hasta el momento, únicamente la administración de anti-inflamatorios no esteroideos ha probado ser efectiva para evitar o disminuir la sintomatología (20, 21, 22, 23). De acuerdo a una exhaustiva revisión en la literatura (Ovid, Md consult, Pubmed, Cochrane, Promedicum) aparentemente no hay ningún reporte en la literatura que evalúe el efecto del bicarbonato de sodio en el DOMS, siendo este estudio el primero en hacerlo.

Debido a que en este estudio se valoró únicamente la percepción del DOMS mediante escalas subjetivas, y a que el mecanismo causante del DOMS aún no está bien establecido, no es posible afirmar el mecanismo por el cuál actúa el bicarbonato sobre el DOMS. El bicarbonato de sodio es el principal sistema amortiguador del ácido láctico. Los resultados obtenidos refuerzan la teoría de que uno de los principales mecanismos que ocasiona el DOMS es la acidez producida por aumento de H^+ . Con esto se infiere que el principal mecanismo por el cual el bicarbonato disminuye la sintomatología del DOMS es el aumento del pH muscular, lo que a su vez disminuye la percepción del dolor. Sin embargo para subsecuentes estudios sería conveniente aislar cada uno de los posibles mecanismos que producen el DOMS y estudiar el efecto del bicarbonato de sodio sobre cada uno de ellos, utilizando otros instrumentos de medición como parámetros bioquímicos.

En los diferentes estudios sobre el dolor muscular de aparición tardía se han propuesto diferentes rutinas de ejercicios tanto isotónicos con componentes concéntricos y excéntricos, con únicamente el componente excéntrico o con componente isométrico puro. De igual forma se han propuesto rutinas con ejercicios aeróbicos continuos de alta

intensidad así como interválicos. La rutina de ejercicio propuesta para provocar el DOMS en este estudio está conformada por ejercicios isotónicos con componente concéntrico y excéntrico a una intensidad del 85% de 1RM. En el 100% de los pacientes esta rutina fue suficiente para provocar DOMS, siendo los valores percibidos más altos (de hasta 8 en EVA) a las 48 horas al igual que lo reportado por Miles y Armstrong (8,9). Sin embargo, posterior a la ingesta del bicarbonato, los valores más altos tanto en la escala visual análoga como en la escala de Likert se presentaron a las 24 horas, disminuyendo a las 48 horas y desapareciendo en el 100% de los pacientes a las 72 horas, apoyando así el mecanismo propuesto en este estudio por el cuál el bicarbonato disminuye el DOMS.

A los sujetos de estudio se les indicó tomar la solución con el bicarbonato de sodio de manera lenta en el transcurso de una hora, sin embargo varios de ellos lo ingirieron en menor tiempo, con lo que aumentaron la probabilidad de presentar efectos secundarios. Los efectos secundarios reportados en la literatura con la administración vía oral de bicarbonato son los mismos que los reportados en este estudio. El más común fue la presencia de náuseas y de diarrea osmótica, sin embargo los 7 pacientes que presentaron este último, presentaron únicamente una evacuación diarreica el mismo día de la ingesta. Los 3 pacientes que presentaron distensión también presentaron dolor tipo cólico. El paciente que presentó cefalea, náuseas y vómito tuvo la particularidad de ser el único que ingirió la bebida con el bicarbonato de sodio en menos de 3 minutos. Sin embargo, el vómito lo presentó hasta 2 horas después de la ingesta.

Los pacientes de género femenino presentaron mayor incidencia de efectos secundarios. No parece haber una explicación para esto, sin embargo es conveniente analizar esta tendencia en subsecuentes investigaciones, y en caso de continuar, realizar estudios más a fondo para determinar la causa.

Es conveniente realizar un buen análisis de los riesgos (efectos secundarios)-beneficios antes de prescribir el bicarbonato de sodio para estos fines, y al hacerlo, se deben de dar indicaciones precisas de cómo administrarlo, tener cuidado en que la administración se haga de manera lenta (aproximadamente una hora) y avisar los posibles efectos secundarios a su administración.

Aunque se han observado buenos resultados con el uso de anti-inflamatorios no esteroideos, es sabido que entre los principales efectos secundarios de estos se encuentra

el daño a la mucosa gástrica, enfermedad ácido-péptica, gastritis y úlcera gástrica. El ketoprofeno subdérmico mostró buenos resultados sin efectos secundarios gastrointestinales, sin embargo el estudio se realizó en pacientes sanos. El bicarbonato de sodio puede ser una buena opción para prevenir el DOMS en pacientes con enfermedad ácido péptica, o con riesgo de padecerla y en pacientes con alergias a este tipo de medicamentos.

Para subsecuentes estudios sería conveniente comparar dosis menores de bicarbonato de sodio con la dosis utilizada en este estudio para ver si así se disminuyen los efectos secundarios y se conserva el efecto de disminución del DOMS. De igual forma, en subsecuentes estudios, es conveniente comparar el efecto del bicarbonato de sodio en la disminución del DOMS con el efecto de los anti-inflamatorios no esteroideos y el masaje.

El 100% de los pacientes refirieron que la solución con el bicarbonato de sodio tenía un sabor desagradable, lo cuál pudo contribuir en alguna medida al desarrollo de los síntomas gastrointestinales. De igual forma para subsecuentes estudios es conveniente agregar algún tipo de saborizante a la bebida, siempre cuidando la osmolaridad de la misma y comparar la incidencia de estos comparados con la solución sin saborizante.

De las pruebas de correlación entre la escala visual análoga y la escala de Likert para DOMS, en este grupo de pacientes se infiere que es indistinto el uso cualquiera de estas dos escalas. Para subsecuentes estudios en pacientes con estas características se pudiera utilizar cualquiera de las 2 escalas.

9.- CONCLUSIONES

9.1 La rutina de ejercicio isotónico de alta intensidad propuesta en este estudio es suficiente para provocar dolor muscular de aparición tardía por lo que puede utilizarse en subsecuentes investigaciones.

9.2 La ingesta de 300mg/kg de peso de bicarbonato de sodio disueltos en 500 ml de agua inmediatamente después de realizar una sesión de ejercicio isotónico de alta intensidad disminuye el dolor muscular de aparición tardía medido a las 24, 48 y 72 hrs.

9.3 La ingesta de 300mg/kg de peso en pacientes sedentarios de 18 a 30 años puede provocar efectos adversos de predominio gastrointestinal, los cuáles incluyen náuseas, diarrea osmótica, distensión abdominal, dolor tipo cólico, vómito y cefalea.

9.4 La escala visual análoga y la escala de Likert para DOMS en miembros inferiores mostraron una alta correlación para todas las comparaciones.

10.- BIBLIOGRAFÍA

- 1.-Edward F Coyle. Substrate utilization during exercise in active people, Am J of Nutrition, pp 968-79. 1995
- 2.- Pilegaard, Henriette, Kristian Domino, Thomas Noland, Carsten Juel, Ylva Hellsten, Andrew P. Halestrap, and Jens Bangsbo. Effect of high-intensity exercise training on lactate/H⁺ transport capacity in human skeletal muscle. Am. J. Physiol. 276 (Endocrinol. Metab. 39): E255– E261, 1999.
- 3.- Green, H., A. Halestrap, C. Mockett, D. O’Toole, S. Grant, and J. Ouyang. Increases in muscle MCT are associated with reductions in muscle lactate after a single exercise session in humans. Am J Physiol Endocrinol Metab 282: E154–E160, 2002
- 4.- Feriche, B. y Delgado, M. Evolución y Aplicación Práctica del Umbral Anaeróbico en el Entrenamiento Deportivo. Revisión, Revista Motricidad 2, 39-53. 1996
- 5.- Dieter Boning Æ Carola Klarholz Æ Barbara Himmelsbach Æ Matthias Hueter Æ Norbert Maassen , Extracellular bicarbonate and non-bicarbonate buffering against lactic acid during and after exercise, Eur J Appl Physiol 100:457–467. 2007
- 6.- Eric Honoré et al. The neuronal background K⁺ channels: focus on TREK1. Nature Reviews Neuroscience volume 8 \ abril 2007
- 7.- Dedman, Sharif-Naeini, Folgering. The mechano-gated K⁺ channel TREK-1. Eur Biophys J, DOI 10.1007/s00249-008-0318-8. 2008
- 8.- Armstrong, R.B. Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness: A brief review. Med. Sci. Sports Exerc. 16:529–538. 1984.
- 9.- Miles, M.P, and P.M. Clarkson. Exercise-induced muscle pain, soreness, and cramps. J. Sports Med. Phys. Fitness 34:203–216. 1994.

-
-
- 10.- P.M. Clarkson and D.J. Newham. Associations between muscle soreness, damage, and fatigue. *Adv. Exp. Med. Biol.* 384:457–69. 1995.
- 11.- Fitzgerald, G.K, J.M. Rothstein, T.P. Mayhew, and R.L. Lamb. Exercise-induced muscle soreness after concentric and eccentric isokinetic contractions. *Phys. Ther.* 71:505–513. 1991
- 12.- Gleeson, M, AK Blannin, N.P. Walsh, C.N.E. Field and J.C. Pritchard. Effect of exercise-induced muscle damage on the blood lactate response to incremental exercise in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 77:292–295. 1998
- 13.- Scott, K.E., R. Rozenek, A.C. Russo, J.A. Crusemeyer, and M.G. Lacourse. Effects of delayed onset muscle soreness on selected physiological responses to submaximal running. *J. Strength Cond. Res.* 17(4):652–658. 2003
- 14.- Marqueste, T, Decherchi, P, Messan, F, Kipson, N, Grelot, L, and Jammes, Y. Eccentric exercise alters muscle sensory and motor control through release of inflammatory mediators. *Brain Res* 1023: 222–230, 2004.
- 15.- Taguchi, T, Sato, J, and Mizumura, K. Augmented mechanical response of muscle thin-fiber sensory receptors recorded from rat muscle-nerve preparations in vitro after eccentric contraction. *J Neurophysiol* 94: 2822–2831, 2005
- 16.- Smith. LL. Causes of delayed onset muscle soreness and the impact on athletic performance: A review. *J Appl Sport Sci Res* 6: 135–141, 1992
- 17.- 5 Clarkson PM, Sayers SP. Etiology of exercise-induced muscle damage. *Can J Appl Physiol*;24:234–48. 1999
- 18.- Belcastro AN. Skeletal muscle calcium-activated neutral protease (calpain) with exercise. *J Appl Physiol*;74:1381–6. 1993

-
- 19.- O'Conner PJ, Cook DB. Exercise and pain: the neurobiology, measurement, and laboratory study of pain in relation to exercise in humans. *Exerc Sport Sci Rev*;27:119–66. 1999
- 20.- J E Hilbert, G A Sforzo, T Swensen. The effects of massage on delayed onset muscle soreness. *Br J Sports Med*;37:72–75. 2003
- 21.- Rob D Herbert, Michael Gabriel. Effects of stretching before and after exercising on muscle soreness and risk of injury: systematic review. *BMJ* volume 325 31 august 2002
- 22.- Lenn, J., T. Uhl, C. Mattacola, G. Boissonneault, J. Yates, W. Ibrahim, and G. Bruckner. The effects of fish oil and isoflavones on delayed onset muscle soreness. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 34, No. 10, pp. 1605–1613, 2002
- 23.- Christopher R. Cannavino, MD et al. Efficacy of Transdermal Ketoprofen for Delayed Onset Muscle Soreness , MD†*Clin J Sport Med*;13:200–208. 2003
- 24.- Franco M. Impellizzeri, MSc*† and Nicola A. Maffiuletti, PhD. Convergent Evidence for Construct Validity of a 7-Point Likert Scale of Lower Limb Muscle Soreness. *Clin J Sport Med*;17:494–496. 2007
- 25.- Matson, L. G., and Z. V. Tran. Effects of sodium bicarbonate ingestion on anaerobic performance: a meta-analytic review. *Int.J. Sport Nutr.* 3:2–28, 1993.
- 26.- Sutton, J. R., N. L. Jones, and C. J. Toews. Effect of pH on muscle glycolysis during exercise. *Clin. Sci.* 61:331–338, 1981.
- 27.- Mcnaughton L. Bicarbonate ingestions: effects of dosage on 60 seconds cycle ergometry. *J. Sports Sci.* 10:415–423, 1991.
- 28.- Gollnick, P D, Bayly, W M, Hodson, D R. Exercise intensity, training, diet, and lactate concentration in muscle and blood. *Med Sci Sport Exerc*; 18: 334-340. 1986.
-

CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

México D.F.

Fecha:

Por medio de la presente acepto participar en el protocolo de investigación titulado: **EFFECTO DEL BICARBONATO DE SODIO EN LA DISMINUCIÓN DE LA PERCEPCIÓN DEL DOLOR MUSCULAR DE APARICIÓN TARDÍA POSTERIOR A UNA SESIÓN DE EJERCICIO DE ALTA INTENSIDAD EN PACIENTES SEDENTARIOS.**

El Objetivo del estudio es evaluar la efectividad de la administración vía oral de bicarbonato de sodio en la prevención o disminución del dolor muscular de aparición tardía posterior a una sesión de ejercicio isotónico de alta intensidad.

Se me ha explicado que mi participación consistirá en:

- 1) Acudir a evaluación para conocer mi estado de salud.
- 2) Acudir a evaluación para establecer la fuerza máxima y establecer una rutina de ejercicio
- 3) Realizar una rutina de ejercicio isotónico de alta intensidad para miembros inferiores (isotónico se refiere al ejercicio hecho en aparatos de gimnasio. Vgr: realizando flexiones y extensiones de rodilla levantando algún peso específico)
- 4) Responder unas preguntas relacionadas con dolor muscular a las 24, 48 y 72 hrs de haber concluido la rutina.
- 5) Posterior a las 4 semanas realizar la misma rutina e ingerir 300mg por kilogramo de peso corporal de bicarbonato de sodio disuelto en 500ml de agua y volver a contestar las mismas preguntas en relación a dolor muscular a las 24, 48 y 72 hrs.

Declaro que se me ha informado ampliamente sobre los posibles riesgos, inconvenientes, molestias y beneficios derivados de mi participación en el estudio, que son los siguientes: Podré presentar dolor muscular en ambos muslos en las siguientes 72 hrs. de completar la rutina de ejercicio así como algunas molestias gastrointestinales como dolor tipo cólico y distensión abdominal secundarias a la ingesta del bicarbonato de sodio. Así mismo, conozco los riesgos de realizar cualquier tipo de ejercicio isotónico de alta intensidad los cuáles incluyen lesiones musculares u osteoarticulares, sin embargo se verán reducidos al realizar calentamiento previo y al estar supervisado por un médico durante su realización.

El Investigador Responsable se ha comprometido a darme información oportuna sobre cualquier procedimiento alternativo adecuado que pudiera ser ventajoso para mi tratamiento, así como a responder cualquier pregunta y aclarar cualquier duda que le plantee acerca de los procedimientos que se llevarán a cabo, los riesgos, beneficios o cualquier otro asunto relacionado con la investigación o con mi tratamiento.

Entiendo que mi participación es voluntaria, sin remuneración y que conservo el derecho de retirarme del estudio en cualquier momento en que lo considere conveniente, sin que ello afecte la atención médica que recibo en el Instituto.

El Investigador Responsable me ha dado seguridades de que no se me identificará en las presentaciones o publicaciones que deriven de este estudio y de que los datos relacionados con mi privacidad serán manejados en forma confidencial. También se ha comprometido a proporcionarme la información actualizada que se obtenga durante el estudio, aunque esta pudiera cambiar de parecer respecto a mi permanencia en el mismo.

Nombre y firma del paciente

Nombre y firma del Investigador Responsable

Testigo 1

Testigo 2

Testigo3

ANEXO 2

Ejercicios de flexibilidad.

Mantener la posición de cada ejercicio durante 20 segundos. Descansar 30 segundos y continuar con el siguiente ejercicio.

