



UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD  
AREA ACADEMICA DE NUTRICIÓN

**Comparación del Gasto Energético en Reposo  
por Calorimetría Indirecta, cálculo por  
consumo de Oxígeno solamente mediante la  
Ecuación de Weir, y la predicción de Harris  
Benedict.**

T E S I S

Que para obtener el título de  
Licenciada en Nutrición

P R E S E N T A

**Marcia María Castillo García**

Bajo la Dirección de:

**Dr. Salvador Villalpando Hernández**

Pachuca, Hgo., Enero del 2008



Para las personas más importantes en mi vida que han hecho desde hace 25 años con mucho amor, comprensión y educación que sea muy feliz.

**A mi madre y abuelos**

GRACIAS SIEMPRE

Por su cariño y apoyo  
**A mi tía Jose y tío Toño**  
**Faby y Toñito**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco las facilidades otorgadas por maestros y directivos de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, para llevar a cabo tanto el servicio social como el presente estudio en el Instituto Nacional de Salud Pública.

En forma muy especial mi agradecimiento a mi equipo de trabajo del proyecto “Génesis de la obesidad durante la edad preescolar”, por sus valiosos consejos, experiencias técnicas transmitidas y por su desinteresada ayuda para la realización de este trabajo.

Hago patente mi más sincero agradecimiento al Dr. Salvador Villalpando por haber aceptado la dirección y asesoramiento de este estudio, pero sobre todo por la confianza y el apoyo incondicional que me ha demostrado.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Tema	PAG.
I. Resumen.....	5
II. Marco Teórico.....	7
Gasto Energético Total y sus componentes.....	7
▪ Gasto Energético en Reposo	
▪ Gasto por Actividad Física	
▪ Efecto Termogénico de los Alimentos	
▪ Crecimiento Físico	
Métodos para la medición de Gasto Energético Total.....	9
▪ Calorimetría Directa	
▪ Calorimetría Indirecta	
▪ Agua doblemente marcada	
Fórmulas de predicción del Gasto Energético en Reposo.....	13
▪ Fórmula de Harris-Benedict modificada por la FAO/OMS	
▪ Ecuación de Weir	
Estudio para desarrollo de la Ecuación de Weir.....	15
Índice de Concordancia.....	20
III. Problema de investigación.....	21
IV. Justificación.....	22
V. Objetivos.....	23
Objetivo General.....	23
Objetivos Específicos.....	23
VI. Hipótesis. ....	23
VII. Metodología .....	24
Esquema metodológico.....	25
Diseño.....	25
Materiales y métodos.....	26
Cálculos.....	27
Análisis estadístico.....	28

Tema	PAG.
VIII. Resultados.....	29
Descripción de los sujetos de estudio.....	29
Medición del GER.....	29
IX. Discusión.....	32
X. Conclusiones.....	34
XI. Referencias bibliográficas.....	35
XII. Anexos.....	38

## I. RESUMEN

En las últimas tres décadas el uso de la técnica de Calorimetría Indirecta ha sido utilizada para la estimación confiable del Gasto Energético en Reposo, que es parte del Gasto Energético Total junto con la termogénesis inducida por los alimentos y la actividad física.

El objetivo principal de la Calorimetría Indirecta es el desarrollo de una adecuada evaluación nutrimental y la estimación de los requerimientos energéticos de un ser humano, este estudio transversal tuvo como finalidad el “Recalculo del Gasto Energético en Reposo”, tomando en cuenta exclusivamente el consumo de Oxígeno mediante la ecuación de Weir. De esta forma se eliminó la variabilidad introducida por la medición imprecisa de la producción de anhídrido carbónico.

La fórmula de Harris-Benedict modificada por la FAO/OMS ha sido ampliamente utilizada para estudiar el Gasto Energético en Reposo. A pesar de sus limitaciones por haber sido construida con una población antropométricamente diferente a la nuestra se utilizó en este trabajo para compararla con las mediciones del Gasto Energético en Reposo por Calorimetría Indirecta. Las diferencias entre la Calorimetría Indirecta medida por consumo de Oxígeno y producción de anhídrido carbónico fue de 73 kcal en promedio mientras que la diferencia con predicción de Harris Benedict modificada por la FAO/OMS fue de 111 kcal. La concordancia entre las dos mediciones hechas por Calorimetría Indirecta fue muy alta (85%), mientras que la concordancia con la predicción de Harris-Benedict fue menor a 50 por ciento.

*Palabras clave. Gasto Energético en Reposo, Calorimetría Indirecta, Fórmula de predicción Harris- Benedict modificada por la FAO/OMS, Ecuación de Weir.*

## **ABSTRACT**

During the last three decades Indirect Calorimetry (IC) has been used for the reliable estimation of Resting Metabolic Rates (RMR) as a part of total energy expenditure estimations along with food-induced thermogenesis and physical activity.

The main aim of IC is to provide an adequate evaluation of nutrition and estimation of the energy requirements of human been in resting conditions. The present study aims to compare the concordance between three methods to measure Resting Metabolic Rates (RMR): IC using CO<sub>2</sub> production and O<sub>2</sub> consumption with IC using O<sub>2</sub> consumption and deriving RMR from Weir's equation and the prediction from the Harris Benedict's equation.

The reason for this comparison is that CO<sub>2</sub> detectors are less reliable than O<sub>2</sub> detectors and then they induce to error frequently.

The Harris-Benedict equation modified by FAO/OMS has been extensively used to estimate the Resting metabolic Rate. Although its limitations because it was elaborated with a sample of individuals anthropometrically different to our population, it was used in the present investigation as comparison with the measurements of Resting Metabolic rate by indirect calorimetry. The differences between the indirect calorimetry estimated by CO<sub>2</sub> consumption or CO<sub>2</sub> production also O<sub>2</sub> consumption was 73 kcal as an average, while the difference with the Harris Benedict prediction was 111 kcal. Concordance between the two measurements performed by indirect calorimetry was very high (85%), while concordance with Harris Benedict prediction was lower than 50%

Key words: *Resting Metabolic Rates RMR, Indirect Calorimetry (IC), Harris-Benedict's equation modified by FAO/OMS, Weir's equation.*

## II. MARCO TEÓRICO

### Gasto Energético Total y sus componentes

El Gasto Energético Total (GET) es la suma de las cantidades de energía que utiliza el organismo para mantener sus funciones básicas, la Actividad Física (AF) y el Efecto Termogénico de los Alimentos (ETA).

El balance energético se define como la diferencia entre la ingesta de energía proveniente de los alimentos y el GET. Cuando la diferencia es igual a cero se dice que el balance está en equilibrio; cuando el balance informa pérdidas el balance es negativo y cuando indica ganancia el balance es positivo. El balance positivo ocurre cuando hay ganancia de masa corporal durante el crecimiento u otros estados que conducen a la obesidad (Díaz y Salazar, 2002).

Para su estudio los componentes del GET se clasifican en aquellos gastos que son cuantificables de manera independiente que incluyen: el Gasto Energético en Reposo (GER), el gasto por AF, el crecimiento físico y el ETA. Este último es ciertamente medible de manera independiente pero técnicamente su medición es complicada y se asume solamente como una constante que representa el 10% del GET (Kinney, 1991).

- El GER se define como la cantidad de energía necesaria para el mantenimiento de funciones básicas y tejidos, así como de la temperatura corporal. Es el principal componente del GET, ya que constituye entre 65 al 70% en individuos sin patología que lo incrementa. Está en duda si los individuos obesos tienen un metabolismo basal diferente conocido como gasto “de lujo”; que consiste en una mayor generación de calor debido a la activación de ciclos fútiles. Se puede medir mediante Calorimetría Indirecta (CI), Calorimetría Directa (CD) o se puede predecir mediante ecuaciones basadas en la edad y las mediciones de peso y talla (Díaz y Salazar, 2002). El Gasto Energético Basal (GEB) se mide después de 8-12 horas de sueño e inmediatamente después de despertarse, por lo tanto, es necesario que el



sujeto pernocte en el sitio de la medición. A diferencia del GEB, el GER es medido después de despertarse y hacer algunas actividades de aseo personal y posible traslado al estudio, donde es puesto en reposo durante 20 minutos. De manera gruesa el GER es cerca de 10% mayor que el GEB.

- El gasto por AF se refiere al costo energético requerido para la contracción muscular que permite la realización de actividades o movimientos (actividades ocupacionales, recreativas, deportivas, etc.) (Kinney, 1991). Es el componente más variable del GET y guarda relación con el tamaño corporal y el patrón de actividades del individuo. Se utilizan tablas de referencia tomando en cuenta el nivel de actividad física de acuerdo a su intensidad y duración (Díaz y Salazar, 2002).
- El ETA es en promedio el 10% del GET y corresponde al gasto asociado a los procesos metabólicos de digestión y la absorción de los alimentos, el transporte y almacenamiento de los nutrientes. Al ser difícil su cuantificación de forma individual se asigna un valor de las mediciones promedio hechas en grupos de individuos sanos, sin embargo, se sabe que su contribución aumenta linealmente con la cantidad de energía ingerida y varía según la composición cualitativa de los alimentos, siendo mayor con alimentos ricos en proteínas en comparación a carbohidratos y lípidos (Casanueva y col., 2001).
- Por último el crecimiento físico, aunque representa un costo poco significativo (6% del GET), representa el valor energético de los nutrientes que han sido transformados en moléculas complejas para formar los tejidos nuevos y depende de la proporción de tejido magro con respecto al graso, es decir; a mayor proporción de tejido magro menor será el contenido energético del tejido ganado (Kinney, 1991).

## **MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE GASTO ENERGÉTICO TOTAL**

La energía que gasta un sujeto puede ser medida mediante varios métodos disponibles actualmente, entre los que destacan: CD, CI, y el agua doblemente marcada (Díaz y Salazar, 2002).

### **Calorimetría Directa**

Es el método de referencia, que mide directamente la cantidad de energía irradiada en forma de calor por un sujeto, es decir mide la cantidad de calor que se disipa por pérdidas no evaporativas (conducción, radiación, convección) y en forma de evaporación de agua.

Para llevar a cabo esta técnica el individuo se instala en una cámara que casi siempre es del tamaño de un cuarto pequeño 13-25m<sup>3</sup> y cuyas paredes se mantienen a una temperatura constante por tiempo prolongado que puede incluir varios días. De esta manera se esta monitoreando permanentemente la diferencia producida entre la temperatura corporal del individuo y de la habitación y así calcular la cantidad de calor producido. No existe dentro de la cámara ningún otro elemento que proporcione calor aparte del individuo, además previo a su ingreso la temperatura de alimentos y bebidas es medida, así como el calor de las excretas y la orina que salen de la misma. Los operadores y las conexiones eléctricas se encuentran al exterior pudiendo ser manejados, vistos o escuchados desde el interior de la pieza.

Sin embargo la complejidad, el alto costo y los periodos largos de tiempo para realizar estas mediciones ocasionan que este método no sea de aplicaciones rutinarias y su utilización sea circunscrita únicamente en el ámbito de la investigación. La desventaja más importante de este método es que restringe la movilidad del sujeto y no permite evaluar su gasto de energía en condiciones de vida libre (Díaz y Salazar, 2002).

## **Calorimetría Indirecta**

Como su nombre lo indica, mide producción de calor a través de la medición del intercambio gaseoso determinado por el consumo de Oxígeno ( $O_2$ ) y liberación de anhídrido carbónico ( $CO_2$ ). Además de proporcionar una estimación de la tasa metabólica, este método puede dar un estimado de la composición de combustibles oxidados.

El principio de la CI se basa en que todos los procesos metabólicos dependen finalmente de la oxidación biológica (Chiapello y Said, 1996).

Existen sistemas que permiten realizar determinaciones de larga duración (Cámaras calorimétricas) que al igual que en la CD tienen el mínimo de confort requerido para permitir la estadía del sujeto por espacio de varias horas e incluso varios días en su interior (ANEXO 1).

La cámara calorimétrica consiste en una pieza ( $10-20m^3$ ) sellada que se ventila con un volumen constante de aire fresco, las variaciones incorporadas en el aire de la pieza son evaluados mediante los cambios en la proporción de  $O_2$  y  $CO_2$  determinados por la disminución en el contenido de  $O_2$  derivado del consumo de  $O_2$  del sujeto y el aumento de la concentración de  $CO_2$  al incorporarse  $CO_2$  proveniente de la combustión metabólica del sujeto. Las concentraciones habitualmente encontradas en el ambiente son del orden de 29.93% para  $O_2$  y de 0.03% para  $CO_2$  (Díaz y Salazar, 2002).

La relación entre la producción de  $CO_2$  y la del consumo de  $O_2$  se conoce con el nombre de Coeficiente Respiratorio ( $V_{CO_2}/V_{O_2}$ ), el cual difiere para cada sustrato metabolizado como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Constantes fundamentales empleadas en la Calorimetría Indirecta (Livesey and Elia, 1992)

	Grasa	Carbohidratos	Proteína	Alcohol
Coeficiente Respiratorio	0.71	1.00	0.835	0.667
VO <sub>2</sub> (l/g)	2.010	0.746	0.952	1.461
VCO <sub>2</sub> (l/g)	1.427	0.746	0.794	0.974
Equivalente -E- del O <sub>2</sub> (kJ/l)	19.61	21.12	19.48	20.33
(kcal/l)	4.69	5.05	4.66	4.86
Densidad Energética (kJ/l)	39.40	15.76	18.55	29.68
(kcal/l)	9.40	3.77	4.4	7.1

Considerando que son cuatro los sustratos energéticos y son solo dos las variables medidas (VO<sub>2</sub> y VCO<sub>2</sub>), los cálculos requieren estimar la cantidad de proteínas y alcohol independientemente. En síntesis, las variables a ser medidas en un sistema calorimétrico de cuerpo total son: las concentraciones de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, así como también la temperatura, flujo y humedad del aire que entra y sale de la cámara. La presión barométrica es requerida para hacer las correcciones a condiciones estándar de presión, temperatura y humedad (STPD) lo cual permite comparar las mediciones realizadas en un mismo sujeto en varias ocasiones o las comparaciones entre mediciones de diferentes lugares.

Las ventajas de estos equipos se pueden resumir en que entregan información exacta y confiable, los analizadores de gases y la computadora están incorporados al equipo y por tanto el manejo de datos es completamente automatizado, el software posee una excelente presentación de la información, adaptada a las necesidades del usuario (ANEXO 2). Su principal desventaja es que tiene un costo muy alto. Otra limitación es que son equipos de alta complejidad y por lo tanto el costo de servicios técnicos y repuestos es también elevado (Díaz y Salazar, 2002).

En estudios previos de países desarrollados utilizando estas cámaras de respiración han sido demostradas dichas características de los equipos de CI para las medidas de GER y GEB (Shetty, 1984).

En 1986 investigadores de la Unidad de Nutrición Dunn (Cambridge, UK) llevaron a cabo un estudio de casos y controles en Keneba, Gambia. Este estudio comparo a una muestra de hombres africanos con otra de hombres europeos midiendo el GER, GET y ETA por medio de CI utilizando un calorímetro de cuerpo entero. Este estudio permite demostrar la versatilidad del método ya que a través de el se midieron tres de los componentes más importantes del GET y además los cocientes respiratorios de los alimentos consumidos. Debido a que dentro de la cámara se puede controlar la actividad física también permitió el cálculo de la eficiencia de trabajo muscular, es decir la relación entre el gasto de energía y la cantidad de trabajo desarrollado. (Minghelli, 1990)

La CI también ha sido utilizada en otro tipo de estudios, como en el estudio del GET durante el embarazo. En el Centro de Nutrición Clínica Dunn se llevó a cabo un estudio en 8 mujeres en el transcurso de sus 36 semanas de gestación. Esté evaluó la hipótesis de que el costo de energía asociado al embarazo podría ser minimizado a través de adaptaciones metabólicas ahorradoras de energía. Algunas mujeres disminuyeron significativamente su metabolismo basal hasta antes de las 24 semanas de gestación, sin embargo, a las 36 semanas el GER aumento significativamente en comparación con el estado de preembarazo. Los cambios de GET fueron paralelos a los cambios en GEB. Loa autores no encontraron diferencias grupales en el costo de mantenimiento del embarazo en comparación con mujeres viviendo en ambientes privilegiados (Prentice, 1989).

### **Agua doblemente marcada**

Este método propuesto por Nathan Lifson bien podría ser considerado como una extensión de la CI por la producción de CO<sub>2</sub>, técnica que permite determinar las

necesidades energéticas de las personas así como el suministro de energía alimentaria. Es decir una vez obtenido el  $VCO_2$  se puede estimar el gasto energético utilizando las ecuaciones empleadas para CI (Seale L, Conway M y Canary J, 1993).

El método de agua doblemente marcada recibe este nombre porque esta basado en la posibilidad de marcar el agua corporal para medir la diferencia en la tasa de desaparición de dos isótopos no radioactivos: el deuterio  $2H$  y el Oxígeno-18 ( $O_{18}$ ), determinada en muestras de saliva, orina o cualquier otro líquido corporal y calcular con ello la tasa de producción de  $CO_2$ .

Cuando a un sujeto se le administra agua doblemente marcada, ambos isótopos se mezclan con el agua corporal y se eliminan de forma orgánica en cuestión de días. El metabolismo de agua corporal se puede estimar a partir de las mediciones diarias de la concentración de deuterio y de  $O_{18}$ . La tasa de excreción del  $O_{18}$  es más rápida ya que se elimina tanto en forma de agua como en forma de  $CO_2$ , en el caso del  $2H$  se elimina solamente como agua. La diferencia en la desaparición de ambos isótopos permite estimar la tasa de producción de  $CO_2$  exhalado.

Por lo tanto las diferencias entre las tasas de excreción de estos isótopos reflejan el  $VCO_2$  producido durante la medición (Iyengar, 2001). Para calcular el gasto de energía estos datos son relacionados con el Coeficiente Respiratorio de los alimentos de la dieta habitual, mediante la ecuación de Weir (Weir, 1949).

La utilización y aceptación de esta técnica va en creciente uso en América Latina, por su exactitud en la medición del gasto de energía de sujetos en condiciones libres, de manera fácil y no invasiva (Díaz y Salazar, 2002).

## **FÓRMULAS DE PREDICCIÓN DEL GASTO ENERGÉTICO EN REPOSO**

Por otro lado Francis G. Benedict desarrolló en el Laboratorio de Nutrición de Carnegie Institución de Washington en Boston, numerosos estudios sobre el metabolismo basal en humanos, que a su vez sirvieron de base para la formulación de ecuaciones predictivas del GER. Dichas ecuaciones tenían por objetivo establecer

los estándares normales, que posteriormente, servirían como una tabla comparativa contra los gastos energéticos de paciente (Frankenfield, 1998). En 1919 Harris y Benedict (Harris, Benedict, 1919) publican su fórmula para predecir el GER, a partir de sexo, la edad, la altura y el peso, obteniéndola a partir de las medidas hechas por CD.

$$\text{Hombres GER (kcal)} = 66.5 + 13.75 P + 5.003 A - 6.78 (E)$$

$$\text{Mujeres GER (kcal)} = 655.1 + 9.563 P + 1.850 A - 4.67 (E)$$

P= peso en kilogramos

A= talla en centímetros

E= edad en años

### **Ecuación de Harris-Benedict modificada por la FAO/OMS**

Basado en estos mismos principios en una reunión de expertos convocados por la FAO y la OMS en 2002 se desarrollaron ecuaciones predictivas para niños, basadas en la edad, peso corporal y sexo. Tales ecuaciones permiten predecir el GER de manera separada por grupos de edad y por género. La fórmula general que se utilizara en el presente estudio es la siguiente (Díaz y Salazar, 2002):

$$\text{Hombres GER (4 a 10 años)} = 22.7 \times P + 495$$

$$\text{Mujeres GER (4 a 10 años)} = 22.5 \times P + 499$$

P = peso en Kilogramos.

### **Ecuación de Weir**

La CI mide el consumo de Oxígeno ( $VO_2$ ) y la producción de  $CO_2$  ( $VCO_2$ ), y deriva el gasto energético sobre la base de estas mediciones y una serie de supuestos fisiológicos expresados como ecuaciones matemáticas (Frayn, 1983).

Weir demostró que el  $VO_2$  es el mayor determinante del gasto energético, mediante una serie de demostraciones matemáticas sintetizadas en la ecuación que lleva su nombre (Weir, 1949):

$$\text{Gasto energético} = [VO_2 (3,941) + VCO_2 (1,11)] 1440 \text{ min./día}$$

### Estudio para el desarrollo de la Ecuación de Weir

Un factor poco conveniente en la estimación del gasto metabólico por CI es que como método común y con mayor exactitud generalmente ignora el efecto del metabolismo de las proteínas. Siendo así el Coeficiente Respiratorio Total usado para asignar el valor de una caloría por oxígeno consumido (adecuado solo para el coeficiente respiratorio no proteico).

Este artículo describe algunas formas en las cuales el cálculo puede ser simplificado y muestra como el efecto del metabolismo de las proteínas puede ser incluido con un mínimo de problemas. La derivación del valor una caloría por un litro de oxígeno es el primer paso.

#### *El valor de una caloría por un litro de oxígeno*

Si  $K$  kg.kcal. es el valor calórico de un litro de oxígeno (l.  $O_2$ ) y  $R$  es el total Coeficiente Respiratorio (RQ) entonces, usando los valores numéricos y simbólicos de la tabla 1.1, por litro de oxígeno consumido se dice que:

$$I. O_2 \text{ consumido} = x + y + z = 1 \quad (1)$$

$$I. CO_2 \text{ producido} = R = x + 0.802y + 0.718z, \quad (2)$$

$$\text{y kg.cal. liberadas} = K = 5.047x + 4.463y + 4.735z. \quad (3)$$

Tabla 1.1 Valores simbólicos y numéricos usados para el metabolismo de carbohidratos, proteínas y grasas.			
	Carbohidratos	Proteínas	Grasas
RQ	1	0.802*	0.718†
Kg.cal por litro de $O_2$	5.047‡	4.463*	4.735†
Vol. de $O_2$ metabolizado	x	Y	Z



\* Loewy modificado por Lusk

† Cathcart y Cuthbertson

‡ Zuntz

Resolviendo para  $K$  la primera sustitución de  $x$  de (1) en (2) y (3) se obtiene:

$$R = 1 - 0.198y - 0.282z \quad (4)$$

$$y \quad K = 5.047 - 0.584 - 0.312 z, \quad (5)$$

y después de sustituir  $z$  de (4) en (5) se tiene:

$$K = 3.941 + 1.106R - 0.365y$$

A partir de que  $R$  es el total RQ y  $y$  es el número de litros de oxígeno para el metabolismo de proteínas por litro total de oxígeno consumido, el término  $0.365y$  representa el error en el método más usual para cálculo, y puede ser considerado como la corrección para el metabolismo de proteínas. Cuando  $y$  es igual a cero,  $R$  se convierte en el RQ no proteico y la ecuación (6) da el valor de una caloría para un litro de oxígeno para metabolizar carbohidratos y grasas, y corresponde a los valores de Cathcart y Cuthbertson (Cathcart y Cuthbertson, 1931).

La corrección proteica puede ser realizada por varios métodos. Desde 1 g. de nitrógeno urinario es equivalente a 5.941 l. de oxígeno (Lusk, 1928) la corrección es  $0.365 \times 5.941 = 2.17$  kg.cal./g. nitrógeno urinario.

Alternativamente, si la fracción de la producción de calorías esperada de proteínas es  $p$ , el número de kg.cal. producidas por metabolismo de proteínas por litro total de oxígeno consumido es  $pK$ , el volumen de oxígeno consumido es  $pK/4.463$  l. y entonces la ecuación es:

$$K = 3.941 + 1.106R - 0.365pK/4.463,$$

La cual, sustituyendo en  $K$  da:

$$K = (3.941 + 1.106R)(1 + 0.082p), \quad (7)$$

y surge: 
$$K = (3.941 + 1.106R)(1 - 0.082p). \quad (8)$$

La corrección proteica es igual a la deducción de 1% cuando  $p = 0.123$ , v. gr. cuando 12.3% del total de calorías provenientes del metabolismo proteico, y por lo tanto el error desatendiendo el efecto del metabolismo proteico es 1% para cada 12.3% del total de las calorías provenientes de proteínas. Valores apropiados de  $p$  pueden ser

utilizados ocasionalmente es decir, en condiciones especiales, pero en metabolismo humano  $p$  es usualmente cerca de  $1/8$ , y entonces la ecuación (7) se reduce a:

$$K = 3.9 + 1.1R \quad (9)$$

De hecho si el porcentaje de calorías proteicas se encuentra entre el 10 y 14 el máximo error en la sustitución de la ecuación (9) es menor de 1 en 500.

La ecuación para el total de calor generado en un tiempo dado es:

Total kg.cal. =  $3.941 \times 1. O_2$  consumido +  $1.106 \times 1. CO_2$  producido

- corrección proteica (e.g.  $2.17 \times g.$  nitrógeno urinario), (10)

o total kg.cal. =  $3.9 \times 1. O_2$  consumido +  $1. CO_2$  producido)( $1 + 0.082p$ ), (11)

o el correspondiente a la ecuación (9)

total kg.cal. =  $3.9 \times 1. O_2$  consumido +  $1.1 l.$   $CO_2$  producido. (12)

La producción de  $CO_2$  y, en algunos casos, el consumo de oxígeno son determinados por el peso en muchos de los experimentos clásicos. En si se practican aun en algunos trabajos de la actualidad.

Ambas fórmulas son fáciles de modificar según la conveniencia del investigador. Por ejemplo, la ecuación (12) resultando:

Total kg.cal. =  $2.729 \times g.$   $O_2$  consumido +  $0.560 \times g.$   $CO_2$  producido (13)

#### *El valor de una caloría por litro de aire espirado*

En la respiración ordinaria, y la mayoría de aparatos utilizados para determinar el gasto energético, v. gr. la bolsa de Douglas, la caloría resultante es más fácil encontrarla por la multiplicación del volumen de aire espirado por el valor de la caloría por litro de aire espirado.

Correspondiente para cada litro de aire espirado  $O'l.$  será el volumen de oxígeno consumido,  $C'l.$  el volumen de dióxido de carbono producido y  $K'$ kg.cal. el calor liberado. Entonces, usando los símbolos adicionales demostrados en la tabla 1.3 tenemos:

$$O' = (N_e O_i - O_e N_i) / 100 N_i, \quad (14)$$

$$C' = (C_e N_i - N_e C_i) / 100 N_i \quad (15)$$

Tabla 1.3 Valores simbólicos y numéricos utilizados en la descripción de Calorimetría Indirecta			
	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
	C <sub>i</sub>	O <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>
Porcentaje en aire inspirado	(0.03)	(20.93)	(79.04)
	C <sub>e</sub>	O <sub>e</sub>	N <sub>e</sub>
Porcentaje en aire espirado			

Y, desde (10),  $K' = 3.941 O' + 1.106 C' - \text{corrección proteica}$ . Sustituyendo para  $O'$  y  $C'$  y eliminando  $N_e$  por  $N_e = 100 - C_e - O_e$  obtenemos:

$$K' = 1.0432 - 0.04984O_e + 0.00063C_e - \text{corrección proteica},$$

$$\text{o} \quad K' = (1.0432 - 0.04984O_e + 0.00063C_e)/(1 + 0.082p). \quad (16)$$

Estas ecuaciones dan el valor exacto para el calor resultante; pero el pequeño coeficiente de  $C_e$  indica que  $K'$ , que en efecto el valor de la caloría de 1 l. de aire espirado es prácticamente independiente del porcentaje de CO<sub>2</sub> en el aire espirado y, consecuentemente, independiente del RQ. Como resultado, la fórmula puede ser simplificada utilizando el valor correspondiente a  $C_e$ ; pero, según las variaciones en  $C_e$  son esperadas las variaciones en parte en el gasto e intensidad de respiración y en parte por las variaciones de RQ. El error residual puede ser reducido a mínimo expresando  $K'$  en términos de  $O_e$  y  $R$ .

*Calor generado en términos de porcentaje de O<sub>2</sub> en aire espirado y el RQ.*

Un litro de aire espirado contiene  $O_e/100$  l. de oxígeno. El volumen correspondiente de aire inspirado es  $1 + O' - C' = 1 + (1 - R) O'$  l. y este contiene  $\{1 + (1 - R) O'\} O_i/100$  l. de oxígeno. La diferencia es el volumen de oxígeno consumido, esto es  $O'$  l. Por lo consiguiente:

$$\{1 + (1 - R) O'\} O_i/100 - O_e/100 - O_e/100 = O';$$

$$\text{de la cual obtenemos } O' = (O_i - O_e)/\{100 - (1 - R) O_i\},$$

$$\text{o} \quad O' = (O_i - O_e)/(79.07 + 20.93R).$$

A partir de que la caloría generada es igual al volumen de oxígeno consumido multiplicado este valor calórico por litro, tenemos desde la ecuación (7), omitiendo la corrección proteica,

$$K = (O_i - O_e) (3.941 + 1.106R)/(79.07 + 20.93R)$$

Para el rango de  $R$ ,  $0.718 - 1.0$ ,  $K'$  esta entre  $0.05032 (O_i - O_e)$  y  $0.05047 (O_i - O_e)$  de hecho  $K'$  es prácticamente independiente de  $R$  en efecto con un error menor de 1 en 600 podemos escribir

$$K' = (O_i - O_e) 0.0504. \quad (17)$$

Esta ecuación es aplicable cuando la corrección proteica esta hecha por el nitrógeno urinario. A partir de esto se facilita, brinda el mismo resultado como los métodos existentes, la ecuación también puede ser utilizada para comparar nuevos datos experimentales con otros de la literatura en los cuales el efecto del metabolismo proteico haya sido omitido. Si nosotros utilizamos con un valor  $O_e$ , v. gr. 16.5, para ajustar el coeficiente de  $O_e$  el cálculo puede realizarse mentalmente. Entonces:

$$K' = (O_i - O_e)0.0504 = 20.93 \times 0.0504 - 16.5 \times 0.0004 - 0.05 O_e,$$

En efecto 
$$K' = 1.048 - 0.05 O_e \quad (18)$$

Incluyendo la corrección proteica, de la ecuación (17) resulta:

$$K' = (O_i - O_e) 0.0504 / (1 + 0.082p). \quad (19)$$

Entonces a partir de los fundamentos en los cuales el porcentaje de calorías por valor proteico es  $12 \frac{1}{2}$  representativamente,  $K'$  puede leerse en la fórmula simplificada de:

$$K' = 1.046 - 0.05 O_e$$

## ÍNDICE DE CONCORDANCIA

En los estudios clínicos el investigador debe valorar la utilidad de las diferentes pruebas diagnósticas ya sean observacionales o experimentales.

La capacidad para clasificar correctamente a los pacientes en estados o categorías en relación a la existencia o no de enfermedad permite evaluar la validez del procedimiento.

Generalmente al utilizar una prueba dicotómica (interpretación de resultados como positivos o negativos), la exactitud diagnóstica se expresa como especificidad y sensibilidad.

La sensibilidad es la probabilidad de clasificar correctamente a un individuo cuyo estado real sea definido como positivo respecto a la enfermedad o alteración que está siendo estudiada. La especificidad es la probabilidad de clasificar correctamente a un individuo como negativo para la enfermedad o alteración en el estudio. **(López de Ulibarri, 1998)**

Sin embargo cuando las comparaciones se hacen entre mediciones que utilizan escalas continuas se puede utilizar variaciones de la prueba de correlación, la más utilizada es la prueba de concordancia conocida como Tau-b de Kendall.

Este método permite analizar las diferencias entre pares de mediciones proporcionando un índice general llamado Índice de Concordancia, se expresa en fracciones de unidad, de tal manera que entre más cercano es el Índice de concordancia al valor de la unidad (1.0) más perfecta es la concordancia. Entre más pequeña es la fracción y específicamente cuando se encuentra por debajo de 0.5 la concordancia es más mala. Sin embargo la limitación de esta prueba estriba en que no permite evaluar si el método de medición que se está probando subestima o sobrestima con relación al método de referencia. Tampoco permite cuantificar la magnitud de las diferencias entre pares. Para subsanar lo anterior se debe calcular aritméticamente las diferencias entre pares de mediciones y calcular su desviación estándar con el propósito de tener una estimación de la magnitud y el sentido de las diferencias.

### III. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Los equipos para CI están basados en las mediciones de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> en el aire espirado (Kinney, 1991). El sensor de O<sub>2</sub> es más estable que el de CO<sub>2</sub> por lo cual la inestabilidad de este último induce errores frecuentes en el calculo del gasto de energía, por lo tanto, es necesario contar con un método alternativo que permita evaluar el correcto funcionamiento del equipo.

Con tal propósito nos propusimos comparar los cálculos del GER hechos por un equipo de CI, basados en las mediciones tanto de O<sub>2</sub> consumido como de CO<sub>2</sub> espirado, con los calculados a partir de solamente las mediciones de O<sub>2</sub> consumido, utilizando la ecuación de Weir (Weir, 1949), mismos que a su vez fueron comparados con la predicción de Harris Benedict modificada por la FAO/OMS.

#### **IV. JUSTIFICACIÓN**

En los 30 años que tiene el uso de la técnica de CI se ha visto una variabilidad en la estimación del GER, lo cual trae como consecuencia un impacto en la precisión de una evaluación nutricia confiable. Es por ello que con esta investigación se buscó medir si las diferencias en la medición del GER utilizando solamente la medición de consumo de  $O_2$  o la combinación de consumo de  $O_2$  y producción de  $CO_2$  son suficientemente amplias para considerar que pueden inducir a un error mayor en el GER. Tales discrepancias en el consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) y producción de bióxido de carbono ( $VCO_2$ ), pueden ser debidas a que con frecuencia el detector del  $CO_2$  pierde su sensibilidad y por lo tanto impacta sobre la exactitud del GER. La comparación entre las dos maneras de estimar el GER medido mediante CI se beneficia de tener una comparación independiente como la predicción de Harris Benedict, la cual se utiliza frecuentemente para estimar de manera sencilla a esta misma variable. La medición del GER en niños es especialmente sensible a estos errores ya que pequeñas variaciones en la estimación del  $VCO_2$  inducen a errores de mayor magnitud en el GER en comparación con lo que ocurre en adultos.

Estas comparaciones permitirán en el futuro estimar los requerimientos energéticos de los sujetos de estudio con mayor seguridad y precisión, lo cual servirá para diseñar estrategias nutricias adecuadas.

Estimar objetivamente los requerimientos energéticos de un ser humano, tiene gran importancia para diseñar una adecuada estrategia nutricia.

## **V. OBJETIVO GENERAL**

Comparar la concordancia entre las mediciones de GER utilizando la técnica de CI que incluye las mediciones de CO<sub>2</sub> espirado y CO<sub>2</sub> utilizado y esta misma técnica utilizando CO<sub>2</sub> consumido derivando el gasto mediante la ecuación de Weir con la predicción de Harris Benedict modificada por FAO/OMS, en una muestra de niños.

### **V.I OBJETIVOS ESPECIFICOS**

1. Recalcular el gasto total de energía obtenido de CI, basado en consumo de O<sub>2</sub> solamente y derivando el valor del GER mediante la Ecuación de Weir.
2. Calcular el GER de esta misma muestra de niños mediante la ecuación de Harris Benedict modificada por la FAO/OMS para este grupo de edad.
3. Comparar mediante un análisis de concordancia los resultados de los tres métodos.

## **VI. HIPÓTESIS**

La medición de GER calculado mediante la ecuación de Weir utilizando solamente la medición de consumo de O<sub>2</sub> tendrá mayor concordancia con la calculada utilizando producción de CO<sub>2</sub> y consumo de O<sub>2</sub>, Que con la predicción de Harris Benedict modificada por FAO/OMS.



## VII. METODOLOGIA

El estudio se centra fundamentalmente en las diferencias metodológicas propuestas en el objetivo, sin pretender evaluar diferencias en la población estudiada ni en sus características.

**Sujetos.** Aunque la pregunta de esta tesis se refiere fundamentalmente a la comparación de la precisión de dos métodos para medir el GEB, es necesario describir las características de la muestra de niños en los cuales se hicieron las mediciones.

Estos niños participaron en un proyecto mayor que investiga los factores asociados al desarrollo de la obesidad. (Villalpando, 2004)

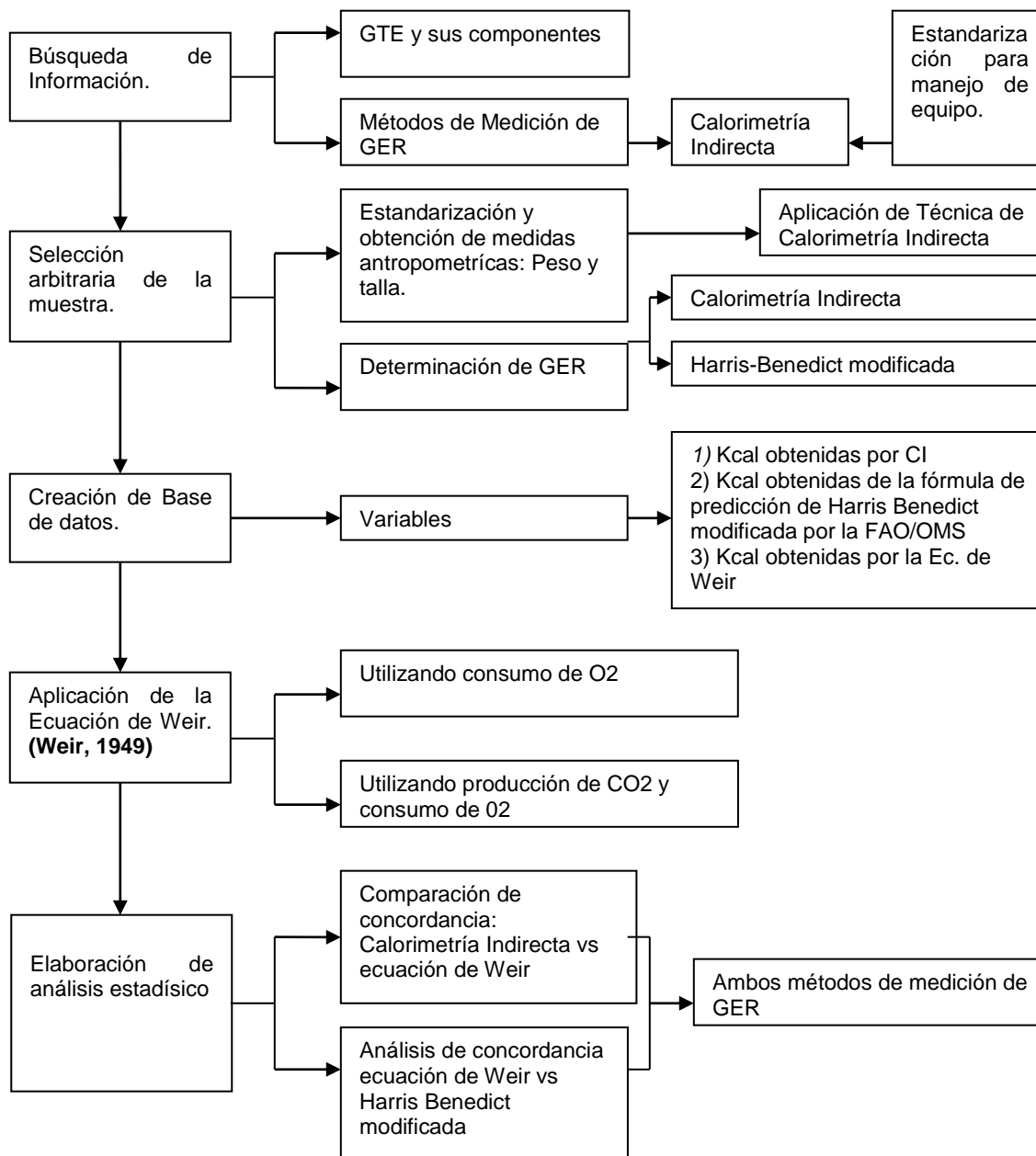
Para el desarrollo de esta propuesta se recluto una muestra de 328 niños en los cuales se llevo acabo la medición del GER.

Criterios de inclusión. Niños de 4.9 a 7.3 años clínicamente sanos, de cinco jardines de niños; Selma Lagerloff, Julio Cáceres, Colegio Morelos, Vicente Guerrero y Resurgimiento de la Ciudad de Cuernavaca, Morelos, durante el año escolar 2004-2005 de diversos estratos socioeconómicos y que hubieran presentado una carta de consentimiento firmada por sus padres con el fin de ser evaluados nutricionalmente (Anexo 3).

Criterios de exclusión. Los niños que no contaron con mediciones completas de las variables que se describen en el diseño fueron excluidos del análisis.

Criterios de eliminación. Niños que por alguna enfermedad o incapacidad física no pudieron realizar la CI. Niños y padres de familia que se negaron al método de CI al momento de su aplicación.

# 1. Esquema metodológico



## 2. Diseño.

Estudio transversal, comparativo.

### **3. Materiales y métodos.**

Diseño Metodológico. Se evaluó inicialmente por antropometría para obtener su peso y talla, bajo los siguientes procedimientos estandarizados para posteriormente aplicar la fórmula de Harris-Benedict modificada por la FAO/OMS (Díaz y Salazar, 2002).

El peso corporal se evaluó con la mínima ropa posible, sin zapatos. Se utilizó una báscula digital portátil marca Tanita modelo 1631, con la siguiente técnica:

1. Colocar la báscula en una superficie plana, formando un ángulo de  $90^{\circ}$  vertical a una pared.
2. Comprobar que la báscula marque cero antes de tomar el registro de cada medición.
3. Colocar el sujeto en la parte central de la báscula de espaldas a la pared, en posición firme, los brazos colgando sin moverse y mirando al frente.
4. El antropometrista debe estar parado de frente a la báscula, para registrar el peso.
5. El peso observado registrarse en kilogramos.

La determinación de la talla se realizó con un estadímetro marca SHORRPRODUCTION, que consta de una cinta métrica de metal flexible con 2 metros de longitud y una escuadra móvil de plástico de  $90^{\circ}$  Técnica:

1. Instalar el estadímetro en una pared recta sin abultamientos.
2. Eliminar cualquier objeto que el sujeto lleve en la cabeza, así como descalzarlos.
3. Los pies deben formar un ángulo de  $45^{\circ}$ , es decir, con las puntas ligeramente separadas y los talones juntos.
4. Pantorrilla, glúteos y espalda pegados a la pared.
5. La línea media del cuerpo deberá coincidir con la línea media del estadímetro.

6. El antropometrista debe colocarse del lado izquierdo del sujeto con el fin de orientarla al plano Frankfort (línea imaginaria entre la orbita inferior de los ojos y el cartílago prominente del oído medio), y con la mano derecha formar un ángulo de 90° para tomar la medición y el registro frente al sujeto.

Así mismo en la muestra se midió el GER mediante gasometría en una cámara de ventilación controlada por CI.

Se utilizó un calorímetro de circuito abierto basado en la técnica de flujo ventilado; Europa Gem (Gas Exchange Monitor (Monitor de Intercambio de Gas)) marca NUTREN el cual cuenta con un analizador de O<sub>2</sub> paramagnético de alto rendimiento, un analizador infrarrojo de CO<sub>2</sub> y un flujómetro de masa térmica, que indica la velocidad de flujo a una temperatura y presión estándares. (ANEXO 4)

El cálculo del GER y la utilización de los sustratos metabólicos se realizan por medio de un balance de masa y energía, donde se relacionan el consumo de O<sub>2</sub> y la producción de CO<sub>2</sub>.

Las condiciones recomendadas para la medición: Ayuno de 12 horas del niño a evaluar, antes de practicar la CI, sitio de medición controlado en humedad y temperatura y seguir las instrucciones del manual para uso de CI. (ANEXO 5)

#### **4. Cálculos.**

El GER por CI fue calculado automáticamente por el equipo GEM basado en las mediciones de consumo de O<sub>2</sub> y la producción de CO<sub>2</sub>. En el método basado solamente en el consumo de O<sub>2</sub> el cálculo estuvo basado en la siguiente ecuación:

$$K = (QR \times 1.1 + kO_2) \times O_i - O_e$$

En donde K es el GER, QR es el Coeficiente de los alimentos y kO<sub>2</sub> es el equivalente en calorías de consumir un litro de O<sub>2</sub> y O<sub>i</sub> es O<sub>2</sub> inspirado y O<sub>e</sub> es O<sub>2</sub> espirado. El coeficiente de los alimentos fue calculado con base en la composición promedio en la dieta de estos niños que resulto ser de 53.76% de carbohidratos, 34.75% de grasa y 13% proteína. Los datos de consumo de O<sub>2</sub> fueron obtenidos de las mediciones hechas en cada sujeto con el calorímetro GEM. La formula para predecir el GER de acuerdo a la predicción de Harris Benedict publicada por la FAO/OMS en su manual de requerimientos de energía fue (Díaz y Salazar, 2002):

$$\text{HOMBRES (4-10 años)} = 22.7 \times P + 495$$

$$\text{MUJERES (4-10 años)} = 22.5 \times P + 499$$

P = peso expresado en kilogramos

## **5. Análisis estadístico.**

Las variables descriptivas se expresan como media y desviación estándar. Las comparaciones de concordancia entre los métodos para estimar el GER se hicieron mediante un modelo de correlación lineal y un análisis de concordancia de Kendall obteniendo el indicador de concordancia Tau-b. Las diferencias entre pares de mediciones entre los 3 métodos se hicieron en una hoja de cálculo interactiva de Excel, calculando la media, desviación estándar y los límites. Los cálculos estadísticos se realizaron con el uso del programa SPSS v10.

## VIII. RESULTADOS

### Descripción de los sujetos del estudio.

Se estudiaron 328 niños inscritos en cinco jardines de niños en la Ciudad de Cuernavaca cuyas edades fluctuaban entre 4.9 y 7.3 años, con una ligera predominancia de mujeres sobre hombres (172/156). El peso corporal varió ampliamente entre 14 y 44.4 kgs con un promedio de 21 kgs. La talla varió igualmente entre 100 y 131 cms. El IMC mostró una prevalencia de sobrepeso y obesidad de 22% (Tabla 2). La variabilidad en el tamaño corporal observada en esta muestra facilita las comparaciones entre los diferentes métodos utilizados para estimar el GER, lo cual es el propósito de este estudio.

Tabla 2. Algunas variables descriptivas de la muestra de niños estudiada		
	Promedio	Desv. Est.
Edad (años)	5.97	0.4065
Sexo	HOMBRES=156, MUJERES 172	
Peso (kgs)	20.99	4.51
Talla (cms)	113.66	5.44
IMC (peso/talla <sup>2</sup> )	16.12	2.5

Proyecto. Instituto Nacional Salud Pública, Dr. Salvador Villalpando. Morelos, México. 2004

### Medición del Gasto Energético en Reposo

Se obtuvieron mediciones completas en 317 de los 328 sujetos, la medición por CI que utiliza las mediciones directas de gasto de O<sub>2</sub> y la producción de CO<sub>2</sub> fue de 1009 ± 147 Kcal. Cuando se calculó el GER con base solamente en el consumo de O<sub>2</sub>, derivando el coeficiente de los alimentos según la ecuación de Weir fue de 1083± 165 kcal y calculándolo mediante la ecuación de Harris Benedict modificada

por la FAO/OMS (que considera para su predicción solamente el peso la talla y la edad) fue de  $972 \pm 102$  kcal (Tabla 3).

Tabla 3. Comparación de las mediciones de Gasto Energético en Reposo calculadas por Calorimetría Indirecta, Medición del Consumo de O <sub>2</sub> con la ecuación de Weir y la predicción de Harris Benedict modificada por la FAO/OMS.		
Medición	Promedio	Desv. Est.
Calorimetría Indirecta (kcal/día)	1009.66 (566-1469)	147.34
Medición de consumo de O <sub>2</sub> por la Ecuación de Weir(kcal/día)	1083.01 (608.48- 1629)	164.60
Fórmula de Harris Benedict modificada por la FAO/OMS	971.53 (814- 1498)	147.25

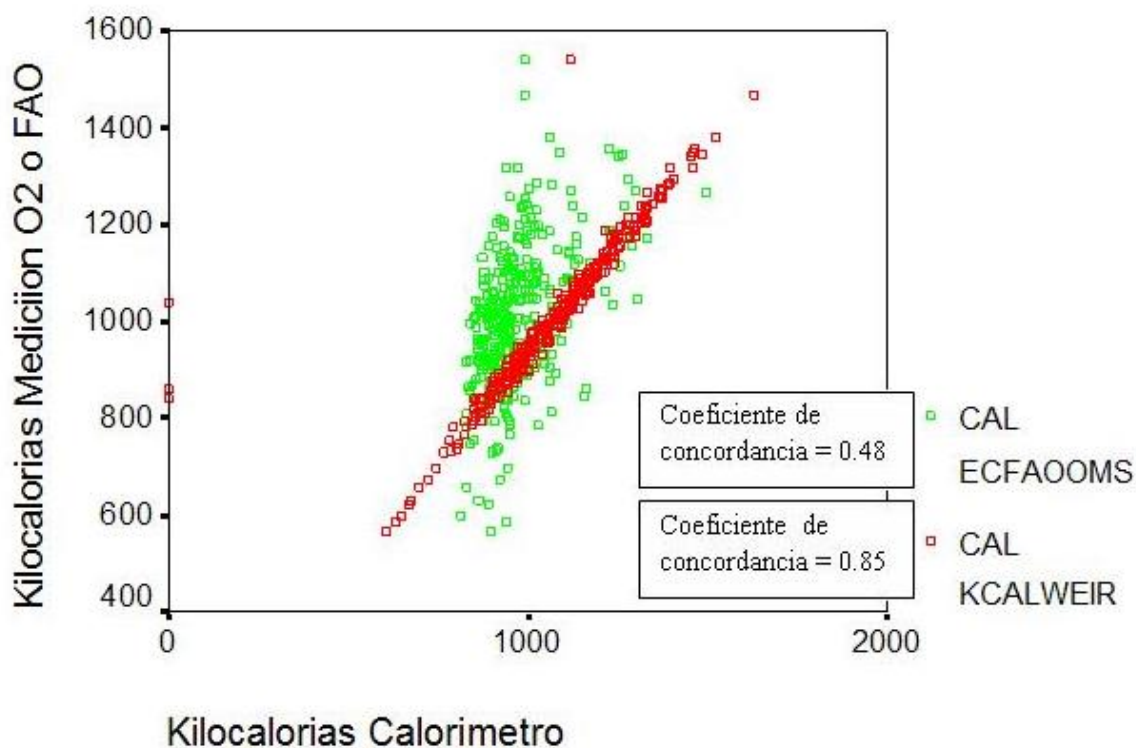
Las diferencias de las mediciones hechas por CI y la ecuación de Weir fueron de  $73 \pm 25$  kcal en promedio, mientras que las diferencias entre CI y la predicción de Harris Benedict modificada por la FAO/OMS fueron de  $38.71 \pm 132$  kcal. Con los datos anteriores calculamos que el GER es un 6% mayor cuando se utiliza la medición del consumo de O<sub>2</sub> en la ecuación de Weir en comparación con la medición que utiliza tanto consumo de O<sub>2</sub> y producción de CO<sub>2</sub> y es 2.9 % menor cuando se utiliza la predicción de Harris Benedict modificada por la FAO/OMS en comparación con la que utiliza tanto consumo de O<sub>2</sub> y producción de CO<sub>2</sub>. Mientras que la diferencia fue casi 10 % menor cuando se utiliza la predicción de Harris Benedict en comparación con la que utiliza solo consumo de O<sub>2</sub> y la ecuación de Weir (Tabla 4).

La variabilidad de las diferencias entre las mediciones hechas por CI y la medición de O<sub>2</sub> fue entre  $73 \pm 25$  kcal, mientras que la variabilidad de las diferencias entre la predicción de Harris Benedict y la CI fue de  $110 \pm 147$  kcal.

Tabla 4. Promedio de diferencias entre pares de mediciones para estimación de Gasto Energético en Reposo.		
Medición	Promedio	Desv. Est.
Calorimetría Indirecta– Fórmula de FAO/OMS (kcal)	38.71	131.91
Ecuación de Weir- Calorimetría Indirecta (kcal)	72.65	24.75
Ecuación de Weir – Fórmula de FAO/OMS (kcal)	110.98	147.25

Para confirmar la concordancia entre mediciones se analizaron el GER hecho por dos métodos en el mismo sujeto mediante la prueba Tau-b de Kendall la cual mostró una concordancia entre las mediciones de CI fue muy alta 85 % (0.85 tau = 100.85 p menor que 0.001), mientras que cuando se compara con la predicción de Harris Benedict la concordancia fue menor al 50% (0.48 tau = 100.48) FIGURA 1.

**FIGURA 1. Concordancia de pares de mediciones:  
CI, Ecuación de Weir modificada y Ec. de predicción de Harris Benedict  
modificada por la FAO/OMS.**





## IX. DISCUSIÓN

### **Influencia de las mediciones de O<sub>2</sub> y de CO<sub>2</sub> en la medición del GER.**

Los resultados de este estudio muestran que la precisión de las mediciones de GER calculadas utilizando la medición de O<sub>2</sub> solo, o CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> es muy comparable. Las variaciones observadas dependen en gran parte de la precisión de Coeficiente de los alimentos, es decir la producción de CO<sub>2</sub> y el consumo de O<sub>2</sub> durante la combustión de una mezcla de alimentos que contenga las mismas proporciones de carbohidratos, grasas y proteínas de los sujetos que estudiamos (Ferranini, 1988), (Black 1986). En nuestro cálculo incluimos un coeficiente de los alimentos basado en la composición promedio de la dieta de los niños lo cual indujo un pequeño error ya que la variabilidad más grande se observó en el consumo de grasa (28-39% de la energía de la dieta). Las variaciones en el coeficiente de los alimentos considerando los extremos de estos consumos de grasa fueron de 0.88 a 0.92, para nuestros cálculos utilizamos un coeficiente de 0.89 (Elia, 1990) .

En un ejercicio utilizando como ejemplo el caso número 1010 cuyo GER calculado con el coeficiente promedio fue de 1007 kcal, cuando se utilizó el coeficiente asociado con el consumo más alto de grasa (0.88) el gasto correspondió a 1008 Kcal y cuando se utilizó el coeficiente correspondiente al consumo más bajo de grasa (0.92) el GER fue de 1018. Lo anterior significa que el error máximo debido a posibles variaciones en la composición de la dieta es de 1%. Este porcentaje se calculó obteniendo la diferencia entre la medición más alta y la más baja de GER, y calculando el porcentaje que representa tal diferencia respecto a la medición hecha por el calorímetro utilizando tanto consumo de O<sub>2</sub> como producción de CO<sub>2</sub> (Elia M, 1990, Kinney and Elia, 1991).

La diferencia promedio entre las mediciones basadas en la medición de CO<sub>2</sub> espirado y O<sub>2</sub> consumido y la basada en la medición solamente en el consumo de O<sub>2</sub> fue de 73 Kcal. Tal diferencia es debida a la sumatoria de errores metodológicos que implica el asumir un solo Coeficiente Respiratorio y despejar de la ecuación de Weir

el consumo de O<sub>2</sub> (Weir, 1949). El error total representa 6% de la medición total.

Los equipos de CI cuentan con dos sensores electrónicos uno para O<sub>2</sub> y uno para CO<sub>2</sub>, debido a que la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire espirado no rebasa el 0.7% del aire mientras que la concentración de O<sub>2</sub> en el aire espirado corresponde a cerca del 19% del aire, las posibilidades de una medición errónea son mucho más altas para la medición de CO<sub>2</sub>. Por otra parte los sensores para CO<sub>2</sub> son muy sensibles a los cambios de temperaturas y a la oxidación especialmente en climas húmedos por lo cual es necesario tener un método alternativo para verificar la confiabilidad de las mediciones en grupos grandes de sujetos (Murgatroid, 1993).

Esta investigación tuvo como propósito verificar la concordancia entre estos dos procedimientos, concordancia que resultó apropiada para asegurar su uso, como alternativa de verificación de la calidad de las mediciones de CO<sub>2</sub>. Se deberá tomar en consideración que sistemáticamente sobreestima el gasto de energía hasta 6%.

La predicción del GER utilizando la ecuación de FAO/OMS tuvo una concordancia muy baja con la medición directa del gasto tanto basada como en CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> como O<sub>2</sub> solamente. Esta falta de concordancia era esperada debido a que esta predicción está basada en peso y edad de una población que tiene características antropométricas diferentes a la de nuestra población. Entre algunas de las diferencias mas notables podemos considerar que muy probablemente a las mismas edades el peso y la talla son mayores en la población de donde se obtuvo la muestra para la predicción FAO/OMS que la población estudiada por nosotros. De manera concordante la diferencia promedio fue de 39 kcal menor por la predicción FAO/OMS, lo anterior sugiere que los datos procedentes de predicciones de esta naturaleza deben ser utilizados con mucha precaución.

## **X. CONCLUSIONES**

En conclusión el GER basado en la medición de  $O_2$  es altamente concordante con la medición hecha utilizando tanto el consumo de  $O_2$  como la producción de  $CO_2$ . El error tiende a la sobreestimación y su magnitud es menor a 6%.

La predicción proporcionada por la ecuación FAO/OMS tiene una baja concordancia con las mediciones reales del GER por lo cual se recomienda no utilizarlas o hacerlo con precaución extrema.

Es recomendable desarrollar ecuaciones predictoras del GET en población mexicana cuyas características en composición corporal son diferentes a las de la población de las cuales se basaron las ecuaciones predictoras de la FAO/OMS.

## XI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Black E., Prentice M. y Coward A. 1986. Use of food quotients to predict respiratory quotients for the doubly- labeled water method of measuring energy expenditure. *Hum Nutr: Clin Nutr.* 40 C, 381- 391-

Casanueva, E. y Espinosa, T. 2001. Aspectos Básicos de calorimetría. *Nutriología Médica.* 2da Edición. Editorial Médica Panamericana. México. pp 516-527.

Cathcart, E.P y Cuthbertson, DP. (1931). *J Physiol.* 72, 349

Chiapello y Said,2001. Lo último en Nutrición. Calorimetría Indirecta: Una Perspectiva histórica y el resurgimiento de esta práctica médica..  
<http://med.unne.edu.ar/chiapello.htm> Fecha última actualización: 08-05-2001; Acceso 31-01-2007.

Díaz, E. y Salazar G. 2002. Gasto Energético y actividad física. *Nutrición, Metabolismo y suplementación en la práctica deportiva.* Ed. Laboratorio de Metabolismo Energético e Isótopos Estables, Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos (INTA), Santiago de Chile. pp 27-34

Elia M. CONVERTING CARBON DIOXIDE PRODUCTION TO ENERGY EXPENDITURE. EN: Prentice AM. The doubly- Labelled doble method for measuring energy expenditure. International atomic energy agency, Viena, 1990, pp 193-211

Ferranini E. 1988. The Theorical Bases of Indirect Calorimetry: A Review. *Metab.* 37 (3): 287-301

Frankenfield DC. Muth ER, Rowe WA.1998. The Harris Benedict studies of human metabolism: history and limitations. *J AM Diet Assoc* 98: 439-445.

- Frayn KN. 1983. Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *J Appl Physiol Respir Environ Exercise Physiol.* 55: 628-63
- Harris, JA., Benedict, FG., 1919. *Biometric studies of basal metabolism in man: Washington DC.* Carnegie Institute of Washington, publication 279.
- Iyengar V. 2001. Descubrimiento de los vínculos ocultos Las técnicas nucleares e isotópicas en función de las necesidades nutrimentales. *Boletín del OIEA.* (43) 14-21.
- Kinney, JM.y M. Elia. 1991. Energy Requirements and Energy Storage. *Energy Metabolism Tissue Determinants and Cellular Corollaries.* 1era Edición. Editorial Raven Press. USA. pp 19-60
- Kinney, JM y M. Elia 1991, Indirect Calorimetry. *Energy Metabolism Tissue Determinants and Cellular Corollaries.* 1era Edición. Editorial Raven Press. USA. pp 139-162
- Livesey G and Elia M. 1992. Estimation of energy expenditure, net CHO utilization, and fat oxidation and synthesis by indirect calorimetry. *Am J Clinic Nutr,* 47: 608-628.
- López de Ulibarri GI y Fernández P. 1998. Curvas ROC. Metodología de la Investigación. *UNE Met. De Inv. España.* 5 (4) 229-235.
- Lusk, G. 1928. The elements of the science of Nutrition, 4<sup>th</sup> ed. London: W.B. Saunder Company.

Minghelli G, Shutz Y, Charbonnier A y Whitehead R. 1990. Twenty-four-hour energy expenditure and basal metabolic rate measured in a whole-body indirect calorimeter in Gambian men. *Am J Clin Nutr.* 51:563-570.

Murgatroyd P. Shetty P y Prentice M. 1993. Techniques for the measurement of human energy expenditure: a practical guide. *J of Obes.* 17, 000-000

Prentice, A.M. 1989. Energy-sparing adaptations in human pregnancy assessed by whole-body calorimetry. *Brit J of Nutr.* 62, 5-22.

Robertson EA, Zweig MH. 1981. Use of receiver operating characteristic curves to evaluate the clinical performance of analytical systems. *Clin Chem*; 27: 1569-1574.

Seale L, Conway M y Canary J. 1993. Seven-day validation of doubly labeled water method using indirect room calorimetry. *J Appl. Physiol.* 74(1): 402-409.

Villalpando S. CONTRIBUCIÓN DE LOS PATRONES DE ALIMENTACIÓN, ACTIVIDAD FISICA Y GASTO TOTAL DE ENERGÍA EN LA GENESIS DE LA OBESIDAD DURANTE LA EDAD ESCOLAR. Proyecto coi-48 financiado por CONACYT

Weir JB. 1949. New Methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol* 109:1-9.

## XII. ANEXOS

### ANEXO 1



Realización de una CI con campana en un paciente

### ANEXO 2



Equipo CI: Analizadores de gases y software, INSP.

## **ANEXO 3**

Carta de Consentimiento:

### **INSTITUTO NACIONAL DE SALUD PÚBLICA CENTRO DE INVESTIGACION EN NUTRICION Y SALUD.**

**Proyecto: Contribución de los patrones de alimentación, actividad física y gasto total de energía en la génesis de la obesidad durante la edad escolar.**

#### **Carta de Consentimiento Informado.**

Yo \_\_\_\_\_ acepto que mi hijo(a)\_\_\_\_\_ participe en el proyecto de investigación titulado **“CONTRIBUCIÓN DE LOS PATRONES DE ALIMENTACIÓN, ACTIVIDAD FISICA Y GASTO TOTAL DE ENERGÍA EN LA GENESIS DE LA OBESIDAD DURANTE LA EDAD ESCOLAR”** que dirige el Dr. Salvador Villalpando Hernández del Centro de Investigación en Nutrición y Salud, perteneciente al Instituto Nacional de Salud Pública (INSP).

Así mismo declaro que he sido informado y he comprendido que la investigación tienen como propósito estudiar el posible desarrollo de obesidad en los niños de primer año de la escuela, y ver cuantos alimentos y de que tipo consumen, conocer a que hora durante el día y con que intensidad realizan actividad física, y cuanta energía gastan durante el día como posibles causas de que un niño desarrolle obesidad después de su ingreso a la escuela primaria.

He sido informado que a mi hijo (a) se le medirá el peso y talla, juntos daremos información sobre los alimentos que consume a lo largo de una semana, durante la cual cargara en su ropa un aparato que sirve para conocer la cantidad de actividad física que realiza durante el día. Se le administrará en dos ocasiones una dosis de un agua especial conocida como agua deuterada, la cual no implica ningún riesgo para el, y que se le tomaran dos muestras de saliva en cada ocasión. Finalmente, será



introducido y acostado en una pequeña tienda de plástico, por donde circulan aire y oxígeno, para conocer la cantidad de Oxígeno que su cuerpo consume y la cantidad de Bióxido de carbono que excreta.

Que este estudio no representa riesgo conocido de ningún tipo para mi hijo, que me brindaran orientación acerca de su salud, nutrición y posibles ajustes a su dieta o actividad física. También he sido informado (a) que los miembros del equipo de investigación me brindaran información para resolver las dudas o preguntas que me surjan en el transcurso del estudio.

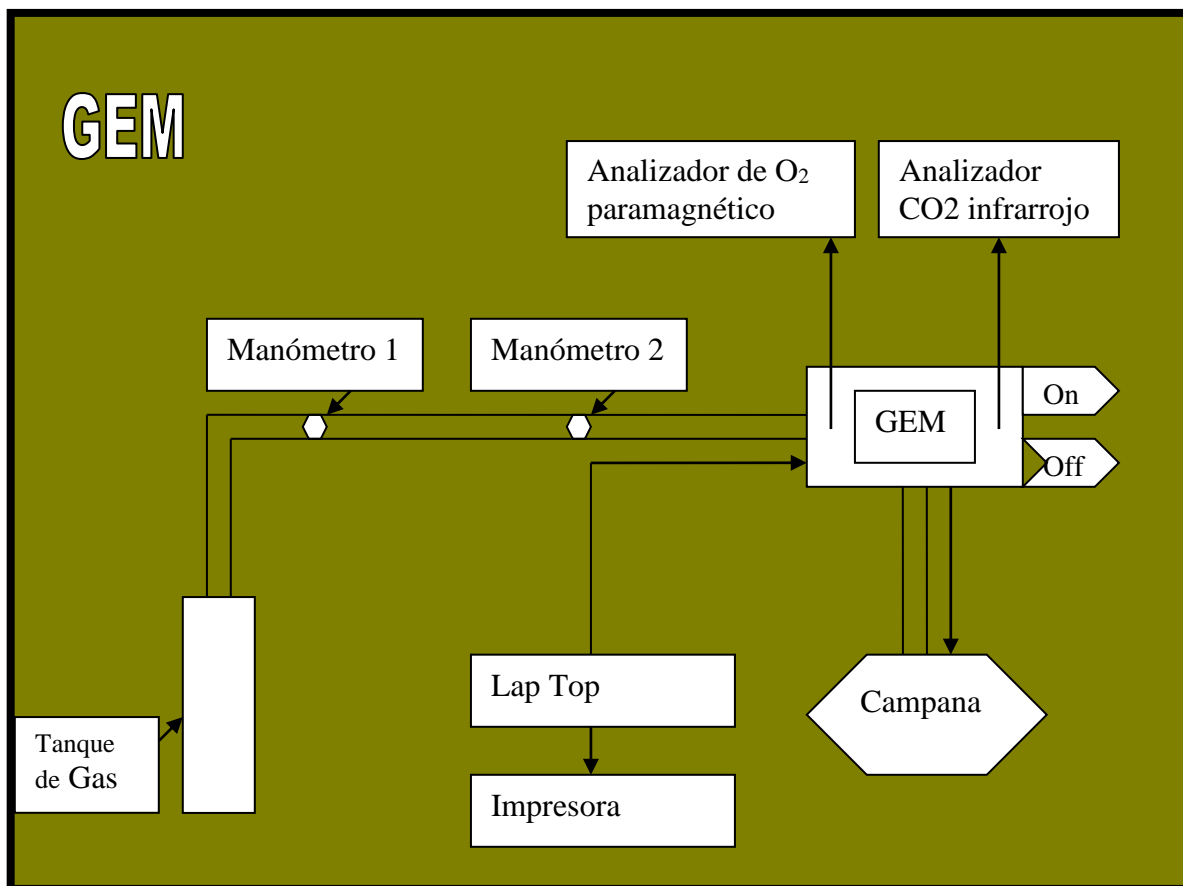
Este documento me brinda la libertad de retirar a mi hijo del estudio por cualquier motivo, sin repercusión en relación al apoyo del equipo de investigación, ni a los servicios que brinda la escuela. La información que se obtenga de mi hijo (a) será confidencial y será utilizada únicamente con fines de investigación y apoyo al bienestar del niño(a).

La participación de de mi hijo en el estudio no implica un gasto económico de nuestra parte y si lo hubiera será absorbido por el presupuesto del proyecto.

_____ Nombre y firma del Padre del niño (a)	_____ Nombre y firma de la Madre del niño (a)
_____ Dirección:	_____ Dirección:
_____ Testigo Nombre y firma	_____ Testigo Nombre y firma

El equipo de investigación me podrá atender por vía telefónica en caso de cualquier duda o pregunta, al Tel. 10 12 936 en horario de oficina.

## ANEXO 4



Esquema de las partes del Calorímetro

## ANEXO 5

### Manual de Calorímetro (GEM)

Instrucciones de uso:

Nota: VERIFICAR QUE ANTES Y DESPUÉS DE UTILIZAR EL EQUIPO QUE LOS TANQUES DE GAS ESTEN CERRADOS.

- 1.- Abrir la llave de los gases: Tanque rosa (Mezcla de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>) y tanque gris (N<sub>2</sub>).
- 2.- Verificar las presiones:

a) Los dos tanques deben tener una presión inferior a 1.5 bar (14.5 PSI)  
PRESIONES MAYORES A ESTE VALOR PUEDEN CAUSAR DAÑOS GRAVES AL EQUIPO. (Manómetro 2)

b) Los dos tanques deben contener mínimo 2 bar (20 PSI) de gas para poder funcionar. (Manómetro 1)

3.- Prender el regulador de corriente eléctrica.

4.- Encender la computadora y conectarla al calorímetro.

5.- Encender el GEM. (El botón de encendido se encuentra en la parte posterior)

6.- Conectar la manguera al filtro y la campana.

7.- Entrar al programa GEM. (Seguir las especificaciones)

8.- Indicar el flujo de aire: Para niños: 20 lt/min.

9.- Calibración durante 30 minutos.

Nota: Se realiza solo una vez al inicio del uso del calorímetro.

10.- Revisar que la temperatura corporal y ambiental corresponda a la correcta e indicarlo en el espacio correspondiente.

11.- Ingresar los datos del paciente: Nombre, Género, talla, peso y fecha de Nacimiento.

12.- Colocar al paciente en la cama usando correctamente la mascarilla con válvulas de ingreso y salida de aire.

13.- Segunda calibración. (Indicación en la pantalla de la computadora)

14.- Iniciar la medición y llevarla a cabo durante 15 minutos.

15.- Guardar los datos e imprimir hoja de resultados (ANEXO 5.1) .

AL TERMINAR LAS MEDICIONES

1.- Apagar el equipo:

a) La computadora.

b) El GEM.

c) El regulador de corriente.

d) CERRAR LA LLAVE DE LOS GASES.

NOTA: Registrarse en la hoja de control.

## ANEXO 5.1

### Copia de resultados

Europa Scientific Ltd.  
Indirect Calorimetry Report 02-17-2005 11:03:39

#### PATIENT DATA

Name: VICTOR MANUEL ?  
D.O.B.: 0/0/0  
Record Number: 1052  
Sex: ?  
Height: ?cm  
Weight: ?kg  
Blood Pressure: ?  
Heart Rate: ?  
Start Body Temp: ?°C  
End Body Temp: ?°C

#### SkinFold Measurements:-

Biceps: ? ; Triceps: ? ; Subscapular: ? ; Suprailiac: ?

#### NOTES:

?

#### RESULTS OF RUN

GEM User ID: ?  
Start Time: 10:47:43  
End Time: 11:02:56  
Initial inspired O2 = 19.98%  
Initial inspired CO2 = 0.109%

Sample binning in groups of 60

Artifact bin exclusion is OFF

Bin No.	Time	FeO2	FeCO2	FSTP	VO2	VCO2	RQ	EE	EE
		l/min	ml/min	ml/min		kcal/day			
001	10:48	19.24%	0.650%	19.23	153	104	0.679	1025	4294
002	10:49	19.19%	0.637%	19.22	165	101	0.613	1090	4562
003	10:50	19.17%	0.628%	19.20	170	100	0.588	1110	4649
004	10:51	19.17%	0.615%	19.18	170	97	0.570	1108	4640
005	10:52	19.14%	0.626%	19.20	177	99	0.562	1149	4810
006	10:53	19.14%	0.625%	19.22	179	99	0.554	1162	4866
007	10:54	19.10%	0.646%	19.23	186	103	0.554	1209	5063
008	10:55	19.15%	0.583%	19.21	178	91	0.512	1142	4780
009	10:56	19.09%	0.612%	19.20	190	96	0.509	1218	5098
010	10:57	19.06%	0.630%	19.11	197	99	0.506	1262	5282
011	10:58	19.08%	0.610%	19.08	192	95	0.496	1231	5155
012	10:59	19.06%	0.612%	19.04	195	96	0.491	1246	5216
013	11:00	19.03%	0.642%	19.02	202	101	0.501	1295	5423
014	11:01	19.02%	0.622%	18.99	204	97	0.478	1300	5443
015	11:02	18.98%	0.656%	18.99	213	104	0.488	1359	5689

Mean VO2 : 185 ml/min

Mean VCO2: 99 ml/min

Mean RQ : 0.540

Mean Energy Expenditure = 1194 kcal/Day ; 4998 kJ/Day

Vienna, 2002.

Coordinated research project on Application of nuclear techniques in the prevention of degenerative diseases (obesity and non- insulin dependant diseases) in ageing.

Report on the second Research Co-ordination Meeting.

Kingston, Jamaica