



Asiento hidráulico con movimiento para prevenir úlceras por presión

González C.E.,^{*,**}
Cardiel E.,^{*} Muñoz R.,^{*}
Villanueva D.,^{*}
Urrutia R.,^{***}
Hernández P.R.^{*}

^{*} CINVESTAV, Ingeniería Eléctrica,
Bioelectrónica.

^{**} Instituto Tecnológico de Reynosa.

^{***} FES Iztacala UNAM, Fisiología del
Esfuerzo y Desempeño Humano.

Correspondencia:

Pablo Rogelio Hernández Rodríguez
CINVESTAV, Ingeniería Eléctrica,
Bioelectrónica. Av. IPN Núm. 2508,
Zacatenco, México D.F., 07360,
parohero@cinvestav.mx

Artículo recibido: 7/abril/2006

Artículo aceptado: 25/mayo/2006

RESUMEN

Se presenta el diseño de un asiento hidráulico para estimular zonas críticas corporales que están sometidas a presiones por periodos prolongados. El diseño utiliza movimiento aleatorio inducido. Estudios enfocados a sujetos que permanecen sentados por periodos prolongados en una silla de ruedas y que están propensos a la formación de úlceras por presión, han reportado que estas úlceras son lesiones isquémicas. Estas lesiones se suelen producir en sitios corporales que son sujetos, de manera sostenida y por periodos prolongados, a presión o estiramiento por inactividad o mala postura. Las úlceras por presión se presentan principalmente al comprimir el tejido entre el hueso y la superficie de apoyo, provocando la disminución o la suspensión del flujo de sangre en el tejido. Este problema incide con mayor frecuencia en personas con la necesidad de utilizar una silla de ruedas o una cama por periodos prolongados y con serias limitaciones en sus movimientos. Los dispositivos y sistemas, hasta ahora desarrollados y aplicados a personas susceptibles de padecer úlceras por presión, siguen el principio de redistribución de presión de las zonas de alto riesgo al resto de la superficie de apoyo. Esto no constituye una alternativa totalmente confiable en la prevención de formación de úlceras por presión, ya que se requiere de manera importante que el paciente realice cambios posturales periódicamente a efecto de prevenir la formación de esas lesiones isquémicas. En este trabajo se describe el desarrollo de un asiento, conformado por 6 líneas hidráulicas, con acción electromecánica que produce movimiento peristáltico. El asiento produce una liberación de presión en las tuberías isquiáticas, una redistribución de la presión y una estimulación por movimiento sobre la superficie de apoyo. Este sistema fue evaluado con cinco sujetos y con un sistema de mapeo se determinó la distribución de la presión en el área de apoyo corporal en posición sedente. Primero se realizó un mapeo de presión sin utilizar el asiento hidráulico para realizar un análisis comparativo de las presiones existentes y de las dimensiones del área de apoyo de cada sujeto. Al utilizar el asiento, los resultados obtenidos de los mapeos de presión indican que se logra una redistribución de la presión sobre las líneas hidráulicas de apoyo y la liberación de presión de las tuberías isquiáticas. A las zonas de apoyo sobre las líneas hidráulicas se les estimula con movimiento peristáltico aleatorio para ayudar a mejorar la irrigación sanguínea de esas zonas y para evitar la formación de úlceras.

Palabras clave:

Úlceras por presión (UPP), lesiones isquémicas, asientos, cojines.

ABSTRACT

A design of a hydraulic seat to stimulate critical body zones long-term submitted to pressures is presented. The device is based on induced random movement to favor blood irrigation mainly. Some studies have reported that pressure ulcers are ischemic sores. These sores are developed because of limited movements in people constrained to a wheelchair. They are produced in body sites which are long-term submitted to pressure or shearing strain. Available devices for pressure ulcers prevention follow a redistribution concept in high risk zones. This concept has been considered important but incomplete because people need movements to change posture and consequently to improve blood irrigation or muscle activation. A seat development is presented in this work. The device is formed by a cushion with six hydraulic lines working with peristaltic movement induced by an electro-mechanism. The system instruments a wheelchair. The seat arrangement not only releases ischiatic tuberosities from pressure, but also produces a pressure redistribution and a stimulation, by movement, on the body surface of support. Five subjects were submitted to the hydraulic seat. A map of pressure distribution of the support area in sitting position was obtained. Pressure maps were captured with and without seat. Results indicated that a redistribution of pressure and a release of pressure for the ischiatic tuberosities were obtained. Moreover, peristaltic movement on the hydraulic lines improves the quality of blood irrigation.

Key Words:

Pressure ulcers, Pressure sores, Ischemic sores, Seats, Cushions.

INTRODUCCIÓN

Se presenta el diseño de un asiento hidráulico para estimular zonas críticas corporales que están sometidas a presiones por periodos prolongados, utilizando movimiento aleatorio inducido. Estudios enfocados a sujetos que permanecen sentados por periodos prolongados en una silla de ruedas y que están propensos a la formación de úlceras por presión (UPP), han reportado que estas úlceras son lesiones isquémicas¹. Estas lesiones se suelen producir en sitios corporales que son sometidos, de manera sostenida y por periodos prolongados, a presión o estiramiento por la actividad que se desempeñe o por la postura que se adopte. Las úlceras por presión se presentan principalmente en lugares en donde existen prominencias óseas, que al comprimir el tejido entre el hueso y la superficie de apoyo provocan la disminución o la suspensión del flujo de sangre en el tejido. Este problema incide con mayor frecuencia en personas que utilizan una silla de ruedas o una cama por periodos prolongados y con serias limitaciones en sus movimientos².

La presión es el factor principal en la formación de la úlcera. Ésta no debe de exceder los 32 mmHg,

que es la presión capilar en el extremo arterial, ya que de lo contrario produce isquemia al tejido fino y suave que se encuentra entre las prominencias óseas y las superficies de apoyo. Experimentalmente se ha demostrado que se produce daño irreversible al tejido cuando éste es sometido a presiones cercanas a los 70 mmHg por periodos de más de 2 horas. Es importante hacer notar que cuando se modifica la presión en estas áreas expuestas por lo menos cada 5 minutos, el tejido fino soporta presiones más altas por tiempos más prolongados^{2,3}.

Datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI)⁴, muestran una población con discapacidad motriz del 0.83%, dentro de la cual se presenta una alta incidencia de lesiones de úlceras por presión.

Los dispositivos y sistemas, hasta ahora desarrollados y aplicados a personas susceptibles de padecer úlceras por presión, siguen el principio de redistribución de presión de las zonas de alto riesgo al resto de la superficie de apoyo^{5,6}. En el desarrollo de estas ayudas se ha descubierto la utilidad de materiales tales como el látex y goma-espuma, el gel, las esponjas especiales y las células de aire que han beneficiado a los paciente sin que esto los ubique como una alternativa totalmente confiable

en la prevención de formación de úlceras por presión⁷, ya que se requiere de manera importante que el paciente realice cambios posturales periódicamente a efecto de prevenir la formación de esas lesiones isquémicas. El problema surge entonces porque los pacientes no efectúan los ejercicios ni los cambios posturales recomendados.

Se describe en este trabajo, el desarrollo de un asiento hidráulico con acción electromecánica que produce movimiento peristáltico. El asiento se adapta a una silla de ruedas para producir una redistribución de la presión y para producir una estimulación por movimiento sobre la superficie de apoyo de personas que utilizan silla de ruedas.

El asiento hidráulico está compuesto de una base rígida de madera acanalada en donde se colocan 6 líneas hidráulicas que producen una redistribución de presión de la superficie de apoyo del sujeto. Por medio de un mecanismo electromecánico compuesto por un árbol de levas, un sistema de transmisión y unas líneas hidráulicas, se produce una redistribución de presión de la superficie de apoyo del sujeto. Este sistema se evaluó con cinco sujetos y con un sistema de mapeo se determinó la distribución de la presión en el área de apoyo corporal en posición sedente. Primero se realizó un mapeo de presión sin utilizar el asiento hidráulico para realizar un análisis comparativo de las presiones existentes y de las dimensiones del área de apoyo de cada sujeto. Al utilizar el asiento, los resultados obtenidos de los mapeos de presión indican que se logra una redistribución de la presión sobre las líneas hidráulicas de apoyo y la liberación de presión de las tuberidades isquiáticas. A las zonas de apoyo sobre las líneas hidráulicas se les estimula con movimiento peristáltico aleatorio para ayudar a mejorar la irrigación sanguínea de esas zonas y para evitar la formación de úlceras.

MATERIAL Y MÉTODOS

En el diagrama de la Figura 1 se muestra el diagrama a bloques del prototipo de asiento con movimiento para la prevención de úlceras por presión. Este sistema es electromecánico con líneas hidráulicas capaces de estimular la superficie de apoyo del paciente.

El asiento prototipo electromecánico desarrollado cuenta con una base rígida de madera de $\frac{3}{4}$ " de espesor con canales, diseñada con la finalidad de conformar un molde para que las tuberidades isquiáticas del sujeto se encuentren libres de presión porque no hay apoyo en esas zonas al mo-

mento de sentarse (Figura 2). Sobre esta base se colocaron 6 líneas de neopreno de $\frac{1}{20}$ " de espesor, 2" de diámetro y 27" de longitud rellenas con líquido. Estas líneas cuentan con una válvula de $\frac{1}{4}$ " por la que se introdujeron 650 ml de agua, pero que podrá ajustarse dependiendo del peso del usuario. Las líneas hidráulicas siguen un arreglo tal que las tuberidades isquiáticas no tienen apoyo y por lo tanto se liberan de presión (Figura 2). La distancia entre las zonas asignadas para la liberación de presión de las tuberidades isquiáticas fue de 11 cm, determinada de la media estadística de 10 sujetos. Las distancias entre tuberidades con ± 1 cm pueden utilizar este diseño.

La base y las líneas hidráulicas se colocaron sobre el asiento de una silla de ruedas de dimensiones estándar de la marca ReActiv, S.A. de C.V., en donde también fue colocado el sistema mecánico desarrollado para producir la estimulación aleatoria que se describe más adelante. La superficie del asiento fue cubierta con un material que disminuye importantemente la fricción.

En la parte posterior de la silla de ruedas fue instalado el control electrónico que genera la secuencia aleatoria de activación del motor de corriente directa, el cual es utilizado en el sistema mecánico de estimulación sobre el paciente y que se describe a continuación.

El diseño del sistema de control electrónico, comienza con un algoritmo que a través de un microcontrolador AT89C2051 (Atmel Inc., USA) y un circuito de acondicionamiento de señal, generan una secuencia aleatoria que es aplicada, a un motor de CD de 12 voltios con dos velocidades, *alta* = 456 rpm y *baja* = 123 rpm. El motor transfiere el movimiento de su eje a un árbol de levas del sistema mecánico de estimulación aleatoria a través de un par de engranes y una banda dentada.

El algoritmo para la secuencia aleatoria fue diseñado para que generara una salida de 1 binario durante cierto tiempo aleatorio y después generará un 2 binario por otro tiempo aleatorio. La suma de estos dos tiempos deberá de ser de 42 segundos, y así continuará cambiando de manera aleatoria en tiempo entre estas dos salidas binarias, hasta completar 10 minutos.

Mecanismo de estimulación por movimiento

El diseño mecánico para generar la estimulación aleatoria por movimiento, fue ideado de tal forma que fuera capaz de convertir la señal eléctrica pro-

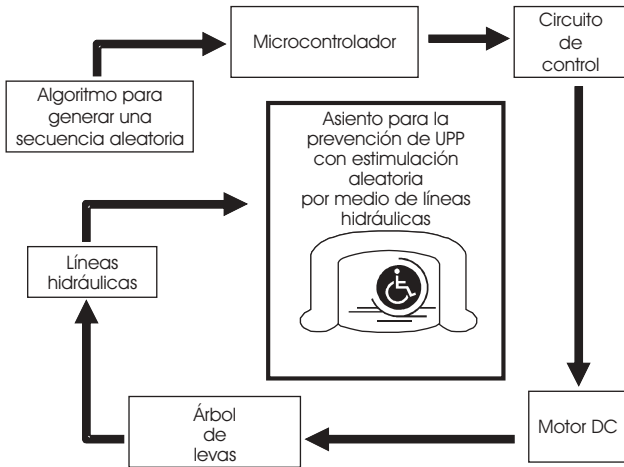


Figura 1. Diagrama a bloques del prototipo electromecánico.

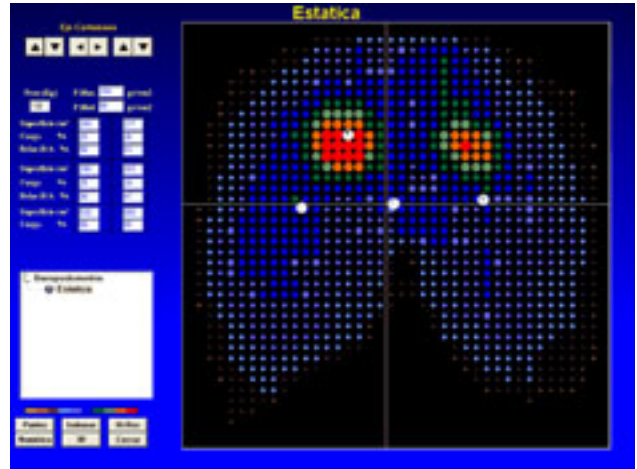


Figura 4. Mapeo de presión sin utilizar asiento prototipo. (rojo, mayor presión; azul, menor presión)



Figura 2. Distribución de líneas hidráulicas en la base de madera. No hay apoyo en las zonas marcadas con los círculos que corresponden a las tuberosidades isquiáticas.

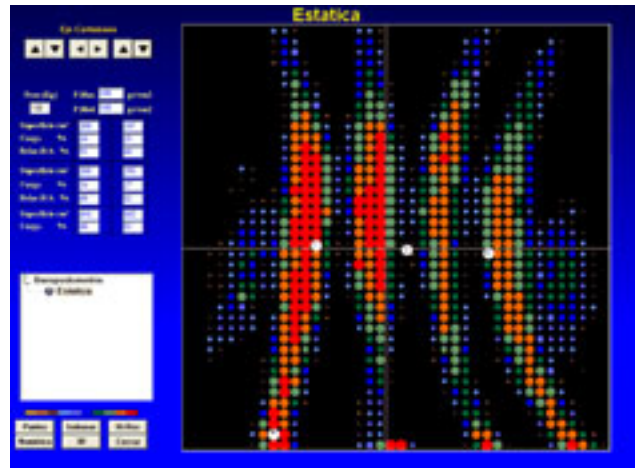


Figura 5. Mapeo de presión utilizando asiento prototipo. (rojo, mayor presión; azul, menor presión)

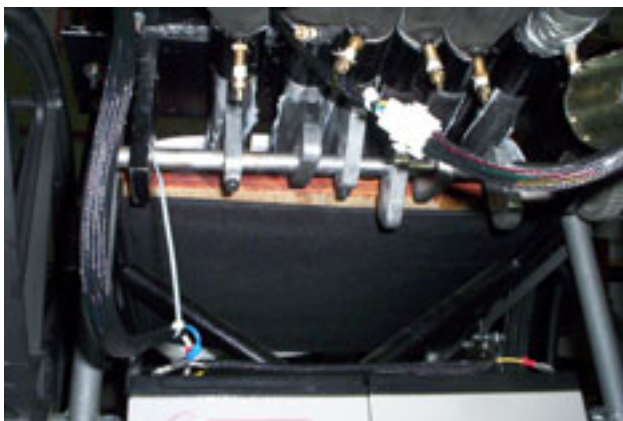


Figura 3. Mecanismo para generar estimulación aleatoria por movimiento en la base del asiento.

ducida por la etapa de control electrónico a movimientos aleatorios sobre la superficie de apoyo del paciente (Figura 3). El circuito electrónico fue instalado en la parte posterior de la silla de ruedas con la finalidad de hacer un sistema portátil e independiente. Los materiales que se utilizaron en su construcción fueron: aluminio, hierro, metacrilato y 2 engranes de antimonio.

El diseño mecánico se basa en el movimiento de un árbol de levas el cual fue construido de tal manera que cuando éste se pusiera en movimiento, las levas oprimieran las líneas hidráulicas anteriormente descritas. Para esta acción fue necesario diseñar y construir un soporte en el cual las líneas hidráulicas estuvieran sujetas, permitiendo que fue-

ran presionadas por las levas sin que se deformaran o destruyeran; esto con el fin de sólo desplazar el líquido en su interior.

El eje del árbol de levas, fue construido de hierro de 5/8" de diámetro al cual se le colocó un engrane de 47 dientes (3" de diámetro), en uno de sus extremos y otro engrane de 24 dientes (1"3/4 de diámetro). El árbol de levas fue colocado en el eje del motor de CD y a través de una banda dentada de 25 cm se logró hacerlo girar, con el propósito de que cuando estuviera en movimiento, las levas presionaran las líneas hidráulicas dentro de sus soportes y fuera desplazado el líquido en su interior hacia el otro extremo de la línea hidráulica, transmitiendo un movimiento de tipo peristáltico a la superficie del asiento.

El árbol de levas fue construido de manera que las levas fueran ajustables por medio de un opresor y se seleccionó la longitud de éstas para desplazar la mayor cantidad de líquido sin que la línea hidráulica corriera el riesgo de dañarse.

Los soportes, tanto para el motor como el de sujetador de las líneas hidráulicas, fueron diseñados de acuerdo a las necesidades funcionales del sistema y limitaciones de espacio con las que se cuenta en la parte posterior de la silla de ruedas. Es indispensable que la estructura de la silla de ruedas no se vea afectada debido a que esto traería como consecuencia dificultad en su maniobrabilidad y peso excesivo de la misma.

Evaluación de la irrigación por temperatura

La evaluación por temperatura se basó en el concepto de que con la presencia de isquemia en una zona del tejido, se produce una disminución de la temperatura. Cuando la circulación sanguínea se restablece, la temperatura se incrementa tendiendo a su valor normal. Se implementó un termómetro doble basado en el dispositivo LM35 (Nacional Semiconductor, USA). Estos sensores fueron colocados en las zonas de las tuberosidades isquiáticas y se hicieron medidas sin y con movimiento del asiento.

RESULTADOS

Los asientos comerciales están fabricados con diferentes materiales, los cuales se colocan en sillas de ruedas convencionales y tienen como propósito reducir la presión entre la persona y la superficie en donde se encuentra sentada, además de brindar soporte y buena postura.

Los resultados de las pruebas realizadas con el sistema de mapeo de presión (Diagnostic Support, mod. 4040, Italia), demuestran en todos los casos una redistribución de presión, que libera de presiones sostenidas y elevadas a las zonas de las tuberosidades isquiáticas, aumentando la superficie de apoyo del sujeto y sugiriendo esto que la irrigación sanguínea de las zonas de alto riesgo está siendo beneficiada.

A continuación se presenta un ejemplo de mapeos de presión obtenidos de la evaluación realizada sobre el asiento prototipo. Se realizaron dos tipos de registro: uno cuando el sujeto no está utilizando el asiento prototipo y el segundo cuando el sujeto sí lo hace.

En el mapeo de presión que se realizó a los sujetos en condiciones normales, es decir, sin utilizar el asiento prototipo (Figura 4), se puede apreciar que el área de apoyo es mayor (zonas azul, rojo y naranja), pero concentrada en las zonas de las tuberosidades isquiáticas, a la que se registra en el mapeo donde el sujeto está utilizando el asiento prototipo (Figura 5). Con el uso del asiento, (Figura 5), se puede observar una redistribución de presión y una descarga total en las tuberosidades isquiáticas. A pesar de que se observan zonas de mayor presión con el uso del asiento, éstas corresponden a zonas blandas, en donde el efecto de la presión se reduce importantemente y ha desaparecido la concentración de presión en las zonas de las tuberosidades. Esto sugiere que la irrigación sanguínea de esas zonas ya está siendo beneficiada, habiendo considerado sólo la configuración y distribución del asiento con líneas hidráulicas sin aplicarle la estimulación por movimiento.

Cabe mencionar que en el mapeo de presión de los sujetos quienes usan el asiento prototipo, existen picos de presión siempre menores a los que se registran en los mapeos en los cuales no se está utilizando el asiento. Además, esos picos de presión se aplican en zonas en las cuales no se tienen prominencias óseas. Por otro lado, el asiento prototipo proporciona al sujeto una estimulación aleatoria por movimiento en su superficie de apoyo que prevendrá que se presenten patrones sostenidos o repetitivos de presión.

Mediciones de temperatura

Las mediciones de temperatura se realizaron en las tuberosidades isquiáticas de cinco sujetos, aparentemente sanos y sin lesiones evidentes en las zonas estudiadas. Se observaron cambios de temperatu-

ra en ambas tuberosidades isquiáticas de aproximadamente 1°C entre las condiciones de reposo y con estimulación por movimiento.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en las evaluaciones de presión y temperatura, que se realizaron sobre el asiento prototipo, cuando se les aplicó movimiento, sugieren que se produce una mejoría en calidad de la irrigación sanguínea.

En el caso de las mediciones de la temperatura realizadas sobre las zonas de riesgo en los cinco sujetos muestran en todos los casos un incremento cuando se les aplica estimulación. Este resultado sugiere de manera consistente que la estimulación aleatoria sí favorece a la irrigación sanguínea de esas zonas.

Por otra parte, los resultados de los mapeos de presión realizados para la evaluación del asiento prototipo, en los cinco sujetos, muestran que la superficie de apoyo de los sujetos disminuye, dando como resultado una redistribución de presión que ocasiona que los valores máximos de ésta se reduzcan y redistribuyan en el resto de la superficie de apoyo liberando de presiones elevadas a las zonas de las tuberosidades isquiáticas. Esto sugiere de manera importante que la irrigación sanguínea está siendo favorecida. Además, se debe considerar que en este caso la evaluación del asiento prototipo se realizó de modo pasivo, es decir, sin producir en el asiento estimulación aleatoria sobre la superficie de apoyo del sujeto. Al generar estimulación aleatoria, los puntos de presión que se encuentran en las diferentes zonas de apoyo serán nuevamente redistribuidas y con esto se estará brindando una alternativa confiable para la prevención de úlceras por presión, no sólo en las zonas de las tuberosidades isquiáticas sino en toda la superficie de contacto del sujeto.

Este trabajo no sólo propone redistribuir las presiones elevadas existentes en las zonas de las tuberosidades isquiáticas del sujeto, sino que además proporciona una estimulación por movimiento aleatorio sobre toda la superficie de apoyo, con la finalidad de variar las presiones elevadas que se pudiesen presentar en otras de las zonas de la superficie de apoyo del sujeto. Si se presentan presiones elevadas en otras zonas de la superficie de apoyo, la variación de presión por el movimiento inducido por el mecanismo electromecánico, será fundamental para la prevención de posibles UPP aunque no existan prominencias.

Debido a que los sujetos con los que se evaluaron los asientos, experimental y prototipo no padecen lesiones aparentes en médula espinal, su complejidad física y tonicidad muscular pudieron interferir en la evaluación de los sistemas, ya que los sujetos que utilizan silla de ruedas, por problemas de movilidad en sus extremidades inferiores, presentan una disminución considerable de su tono muscular e hidratación de la piel.

CONCLUSIONES

Por los resultados obtenidos, se puede concluir, de manera general, que el asiento hidráulico prototipo con estimulación por movimiento aleatorio para la prevención de úlceras por presión en sujetos que utilizan silla de ruedas, representa una alternativa que promete ser confiable y accesible para la mejoría de la irrigación sanguínea de las zonas de riesgo y para la prevención de la formación de úlceras de presión.

La estimulación aleatoria por movimiento que se propone aplicar a las zonas de apoyo del sujeto y la redistribución de presión de las zonas de riesgo que se logra con el diseño del asiento prototipo, ofrecen un avance en el desarrollo de ayudas para la prevención de las UPP en personas que utilizan silla de ruedas. La evaluación del asiento prototipo por medio de mapeo de presión es de gran ayuda para demostrar que el asiento sí ofrece una redistribución de la presión de la superficie de apoyo del sujeto.

Se plantea como complemento a este sistema un mecanismo para levantar las extremidades inferiores del usuario de la silla de ruedas para tratar de reducir o prevenir posibles daños colaterales, como por ejemplo: atrofia muscular, espasmos musculares, trombosis venosa, distrofia muscular, entre otros.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue apoyado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (38524A). Los autores expresan su agradecimiento a los señores Andrés López, Juan Manuel Osorio, Silvino Reyes y Humberto Escalona por su apoyo técnico.

BIBLIOGRAFÍA

1. Barton F, Barton M. The management and prevention of pressure sores. London, Faber & Faber, 1981.
2. Landis E. Micro-injection studies of capillary blood pressure in human skin. Heart 1930; 15: 209-228.

3. Wolsley CJ, Hill PD. Review of interface pressure measurement to establish a protocol for their use in the assessment of patient support surfaces. *J Tissue Viability* 2000; 10 (2): 53-57.
4. INEGI. XI Censo General de Población y Vivienda, 1990. Aguascalientes, Ags. 1992. INEGI. Conteo de Población y Vivienda, 1995. Aguascalientes, Ags. 1997. INEGI. XII Censo General de Población y Vivienda, 2000. Aguascalientes, Ags. 2001. CONAPO. Proyecciones de la Población de México.
5. Cullum N, McInnes E, Bell-Syer SEM, Legood R. Support surfaces for pressure ulcer prevention (Cochrane Review). In: *The Cochrane Library*, Issue 3, 2004. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
6. Hobson DA. Comparative effects of posture on pressure and shear at the body-seat interface. *J Rehabil Res Dev* 1992; 29 (4): 21-31.
7. Cullum N, Deeks J, Sheldon TA, Song F, Fletcher AW. Beds, mattresses and cushions for pressure sore prevention and treatment (Cochrane Review). In: *The Cochrane Library*, Issue 2, 2004. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.