

# Estimación del tiempo de exposición solar para quemadura en población mexicana

Juan Pablo Castanedo Cázares<sup>1\*</sup>, Bertha Torres Álvarez<sup>1</sup>, Salvador Sobrevilla Ondarza<sup>1</sup>, Adriana Ehnis Pérez<sup>1</sup> y Antonio Gordillo Moscoso<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Dermatología, Hospital Central Dr. Ignacio Morones Prieto, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, SLP, México;

<sup>2</sup>Departamento de Epidemiología Clínica, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, SLP, México.

## Resumen

**Introducción:** La dosis mínima eritematosa (DME) cuantifica la sensibilidad individual a radiación UV (RUV). Estimarla en población mexicana y establecer el tiempo de exposición que la induce permitiría calcular intervalos de riesgo.

**Métodos:** de 2005-2012 se cuantificó la RUV solar mediante radiometría terrestre, y se comparó con el índice UV público. Determinamos la DME en 90 individuos con los fototipos prevalentes en México (III, IV, V) y se estimó el tiempo para desarrollar quemadura solar. **Resultados:** las DME promedio para los fototipos III, IV y V fueron 39 (IC 95%: 35-42), 48 (IC 95%: 42-53) y 84 (IC 95%: 75-92) mJ/cm<sup>2</sup>, respectivamente (análisis de varianza [ANOVA],  $p \leq 0.001$ ). Aproximadamente, el 80% de la RUV diaria se acumula entre 10:00-16:00 h. El 77% de la dosis UV anual se recibe de marzo-octubre. El índice UV público tuvo una correlación alta con el cuantificado a nivel terrestre ( $r = 0.89$ ;  $p \leq 0.001$ ).

**Conclusiones:** México recibe niveles elevados de RUV de forma continua. El fototipo III presentará quemadura solar con 22-33 min de exposición en un día de verano, mientras que el V requiere más de 1 h de exposición. Este último grupo presenta el riesgo de exponerse de forma crónica sin advertir consecuencias.

**PALABRAS CLAVE:** Radiación ultravioleta. Quemadura solar. Fototipo.

## Abstract

**Introduction:** the minimal erythematous dose (MED) quantifies an individual's sensitivity to UV radiation (UVR). To estimate it in our population and establish the time of exposure inducing it during daily activities would allow us to calculate risk intervals. **Methods:** from 2005-2012, the UV solar radiation was measured with terrestrial radiometry and compared to public UV index (UVI). We determined the MED in 90 individuals with the prevalent phototypes in Mexico (III, IV, V), and estimated the time needed for the development of sunburn. **Results:** the average MED for phototype III was 39 (IC 95%: 35-42) mJ/cm<sup>2</sup>, for IV 48 (IC 95%:42-53) mJ/cm<sup>2</sup>, and for V was 84 (IC 95%:75-92) mJ/cm<sup>2</sup> (ANOVA,  $p \leq 0.001$ ). Approximately, 80% of the daily UVR was accumulated between 10:00-16:00 h, and 77% of the annual UV dose is received between March-October. The public UVI had a high correlation with the one quantified at terrestrial level ( $r = 0.89$ ;  $p \leq 0.001$ ). **Conclusions:** Mexico receives continuously high levels of UVR. Phototype III will present sunburn after 22-33 min in a summer day, while phototype V will require over one hour of exposure. This last group is at risk of chronic exposure without considering consequences.

**KEY WORDS:** Ultraviolet radiation. Sunburn. Phototype.

## Correspondencia:

\*Juan Pablo Castanedo Cázares  
Departamento de Dermatología  
Hospital Central Dr. Ignacio Morones Prieto  
Venustiano Carranza, 2395  
Zona Universitaria, C.P. 78210, San Luis Potosí, S.L.P.  
E-mail: castanju@yahoo.com

Fecha de recepción en versión modificada: 30-05-2012

Fecha de aceptación: 21-06-2012

## Introducción

La quemadura es la lesión cutánea más frecuente originada por la exposición solar<sup>1</sup>. Su etiología es la radiación ultravioleta RUV, la cual se clasifica en B (295-320 nm) y A (321-400 nm). Para su desarrollo se estima que la UVB contribuye en un 80%, y la UVA en un 20%, aproximadamente<sup>1</sup>. Por lo tanto, la intensidad de la exposición UV ajustada a este espectro conocido como «eritematígeno», así como la sensibilidad de la persona determinan su aparición<sup>1-3</sup>. La reproducción experimental de la quemadura solar se conoce como DME, que es el parámetro utilizado para identificar la sensibilidad biológica a RUV. Se define como la dosis capaz de originar eritema cutáneo de límites notorios a las 24 h de exposición<sup>1</sup>. Aproximadamente, 4 DME producirán dolor y 8 DME ampollas<sup>1,4</sup>. En el transcurso de 2-5 días el eritema desaparece para observar descamación con aparición gradual de pigmentación o bronceamiento<sup>1,4,5</sup>. Utilizando esta respuesta biológica según el desarrollo de quemadura y/o bronceamiento, la piel se cataloga en seis fototipos<sup>6</sup>. Esta clasificación que inicialmente se utilizó en dermatología, ahora se ha extendido a los medios de comunicación y público general<sup>7</sup>. Cuantificar esta sensibilidad en todo grupo humano es trascendente, ya que existe una relación directa entre su magnitud y el desarrollo de mutaciones<sup>8</sup>, inmunosupresión<sup>9</sup>, fotoenvejecimiento<sup>10</sup> y neoplasias<sup>8,11</sup>. Por lo tanto, estimar en nuestra población de forma objetiva la sensibilidad UV, así como el tiempo de exposición que induce lesiones, permitiría aproximar intervalos de riesgo y/o seguridad considerando que la intensidad solar y los hábitos de exposición solar en el país son prolongados<sup>2,3</sup>. Esta información es de importancia epidemiológica, ya que el carcinoma cutáneo no melanoma es la segunda neoplasia más frecuente en México<sup>12</sup>.

## Material y métodos

### Sujetos

Mediante consentimiento informado y aprobación por el comité de ética local, se incluyeron 90 voluntarios sanos entre 18-50 años de edad quienes fueron clasificados según el estándar de referencia de Fitzpatrick<sup>6</sup>. Este sistema incluye tres tipos de piel blanca (I, II, III), dos de piel morena (IV, V) y la negra (VI). Los voluntarios fueron alumnos de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, así como trabajadores del

Hospital Central Dr. Ignacio Morones Prieto, quienes mediante selección aleatoria sistémica fueron incluidos en el estudio; todos contaron con la nacionalidad mexicana desde al menos tres generaciones. Se excluyeron personas con fotosensibilidad u otras dermatosis, uso de medicamentos, embarazo, así como enfermedades sistémicas. Previo al estudio, los investigadores estandarizaron la asignación del fototipo mediante el análisis Kappa para variables categóricas<sup>13</sup>. La concordancia intraobservador fue de 0.75 (IC 95%: 0.63-0.8), e interobservador de 0.7 (IC 95%: 0.62-0.80).

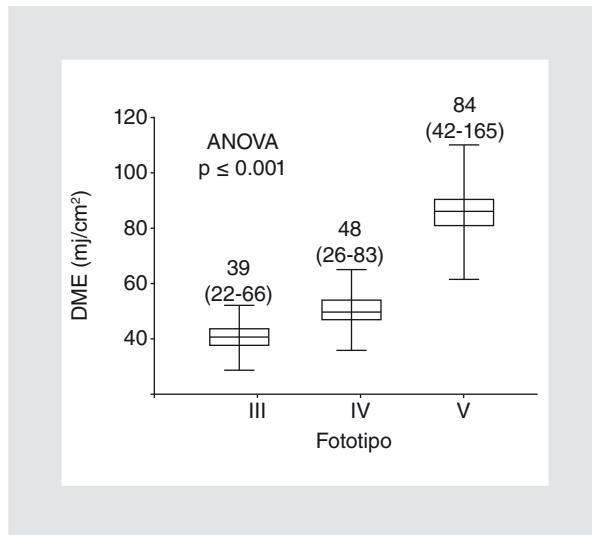
### Estimación de la dosis de quemadura solar

Para cuantificar la DME se utilizó un equipo Robertson-Berger de simulación solar con una lámpara de Xenón de 150 watts (Solar Light Co. Glenside, PA, EE.UU.). La emisión del arco es modificada por filtros WG320 y UG11 de 1 mm, los cuales proporcionan un espectro de RUV similar a la solar (290-400 nm) durante el cenit, pero con una intensidad 15-20 veces mayor<sup>14</sup>. La medición de la radiación se realizó mediante radiómetros UVB y UVA acoplados a un microprocesador PMA 2100 (Solar Light Co. Glenside, PA, EE.UU.) ajustados al espectro de acción eritematogéna<sup>15</sup>. La DME fue considerada como la dosis de radiación solar simulada capaz de originar enrojecimiento cutáneo de perímetros bien definidos a las 24 h de su administración. La exposición UV se aplicó a incrementos de  $3\sqrt{2}$  hasta respuesta en áreas de 1 cm<sup>2</sup> en la porción interna del brazo (v. g. 22, 26, 33, 42, 53, 66, 83, 104, 131, 165 mJ/cm<sup>2</sup>)<sup>1,16</sup>.

La asignación de la DME por los investigadores fue estandarizada mediante el análisis de concordancia; los valores intraobservador fueron 0.77 (IC 95%: 0.58-0.97), e interobservador de 0.72 (IC 95%: 0.63-0.80).

### Estimación de la irradiación ultravioleta ambiental (índice ultravioleta)

La RUV se registró en la ciudad de San Luis Potosí, México (22° 09' N, 100° 58' O, 1,877 m de altitud). El monitoreo se realizó desde el año 2002 mediante un radiómetro meteorológico (Biometer UVB 501, Solar Light, Co. Glenside, PA, EE.UU.) ubicado en la terraza elevada de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. La unidad registra la irradiación UV diaria en plano horizontal de 7 a.m. a 7 p.m. con intervalos de 30 min. Según la referencia



**Figura 1.** Valores de la Dosis Mínima Eritematógena (DME) para los tres fototipos más frecuentes en México. La línea horizontal de las cajas representa el promedio; las líneas paralelas superior e inferior los valores extremos.

establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la intensidad se expresa mediante el índice UV, cuya unidad corresponde a  $0.0025 \text{ mW/cm}^2$ , o  $9 \text{ mJ/cm}^2$  por hora<sup>17</sup>. De forma simultánea a las mediciones locales, se consultó el índice UV satelital en sitios de alerta pública en línea (v. g. [www.uvawareness.com](http://www.uvawareness.com)), y se compararon con las obtenidas al nivel terrestre.

### Estimación del tiempo para la inducción de quemadura solar

La dosis UV ( $\text{mJ/cm}^2$ ) es resultado de la irradiación ( $\text{mW/cm}^2$ ) por el tiempo de exposición (s). Por lo tanto, la exposición solar en minutos capaz de originar eritema según el índice UV se calculó utilizando el valor de sensibilidad personal (DME) aplicando la siguiente fórmula:  $T = \text{DME (mJ/cm}^2) / (\text{índice UV}) \times (0.15 \text{ mJ/cm}^2)^{2,15,18}$ .

### Análisis estadístico

Aproximadamente, el 95% de los fototipos existentes en la población mexicana son III, IV o V<sup>2,3</sup>. Por lo tanto, el tamaño de la muestra se calculó en al menos 15 sujetos por grupo según las siguientes consideraciones: una diferencia de la DME entre los fototipos III-V de  $46 \text{ mJ/cm}^2$  (v. g.  $30 \text{ mJ/cm}^2$  para tipo III, y  $76 \text{ mJ/cm}^2$  en el V). La distribución intermedia de las medias, desviación estándar de 20 y un IC de 95%,

dos colas,  $\alpha$  de 0.05 y  $\beta$  de 0.8. El análisis descriptivo se realizó utilizando medidas de tendencia central. La comparación de los datos se realizó mediante prueba *t*, análisis de varianza y pruebas de correlación. Todo a un nivel de confianza del 95%, y un nivel de significancia de 5% utilizando el programa JMP versión 8.0 (Cary, NC, EE.UU.).

## Resultados

### Dosis para quemadura solar

La muestra total estuvo compuesta por 90 individuos, 30 por grupo (III, IV, V). El 48% fueron mujeres ( $n = 40$ ) y el 52% ( $n = 50$ ) hombres. La edad promedio fue de 29 años (rango 18-76). No hubo diferencia de edad o género entre los tres grupos.

La DME promedio para el fototipo III fue de 39 (IC 95%: 35-42)  $\text{mJ/cm}^2$ , para el IV de 48 (IC 95%: 42-53)  $\text{mJ/cm}^2$ , y 84 (IC 95%: 75-92)  $\text{mJ/cm}^2$  para el fototipo V. Estas diferencias fueron significativas ( $p \leq 0.001$ , ANOVA). La DME presentó rangos más estrechos en el fototipo blanco (I), y más amplios en el fototipo moreno oscuro (V). Estos hallazgos se observan en la figura 1.

### Niveles de radiación ultravioleta ambiental (índice UV)

La intensidad del índice UV durante el cenit solar alcanza un máximo promedio de 12.3 ( $1.8 \text{ mJ/cm}^2/\text{min}$ ) en el mes de mayo, y un mínimo de 4.6 ( $0.7 \text{ mJ/cm}^2/\text{min}$ ) en diciembre. El 77% de la dosis total de radiación solar anual se recibe de marzo-octubre. El promedio de la intensidad mensual en este lapso de 8 meses no mostró diferencias significativas ( $p = 0.36$ , ANOVA). Sin embargo, en los meses de noviembre-febrero se redujo alrededor de 40% el flujo UV en relación con este mayor periodo. El promedio del índice UV de noviembre-febrero durante cenit es de 7.2 (IC 95%: 6.9-7.4), en contraste con 11.5 (IC 95%: 11.1-11.8) de marzo-octubre ( $p \leq 0.001$ , prueba *t*). Estos datos se resumen en la tabla 1.

Los índices UV obtenidos en el plano terrestre horizontal fueron comparados con los valores satelitales para las coordenadas de la ciudad. Durante este lapso de observación, el coeficiente de correlación fue elevado ( $r = 0.89$ ;  $p \leq 0.001$ ). Confirmamos que, en nuestro país, las mediciones satelitales de dominio público se aproximan mucho a la intensidad de RUV a nivel terrestre.

**Cuadro I. Variación promedio anual del Índice UV por intervalos horarios cuantificado mediante radiometría terrestre. San Luis Potosí, México, 2005-2012**

HORA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
8	0.2	0.3	0.8	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.5	0.2
9	1.1	1.5	3	1.3	1.2	1.3	1.4	1.1	1.1	0.8	1.8	1.1
10	3.1	3.7	6.3	3.9	3.5	3.5	3.8	3.3	3.3	2.4	3.8	2.8
11	5.4	6.2	9.6	7.5	6.7	6.5	6.7	6	6.3	4.9	5.8	4.6
12	6.8	7.7	11.6	10.6	10	9.5	9.5	9.1	9.3	7.5	5.8	4.6
13	7.5	8	11.1	11.6	12.3	11.9	11.7	11.5	11.3	11.2	7.2	5.9
14	6.4	6.6	9.7	11.9	12.1	12.2	11.8	11.1	10.7	8.5	7	5.8
15	4.4	4.6	6.6	10.1	9.7	10.7	10.3	9.4	8.5	7	5.4	4.5
16	2.3	2.2	3.4	6.8	6.7	8.3	7.5	6	6.1	4.4	3.2	2.7
17	1	0.6	1.1	3.4	4.3	5	4.3	3.2	3	2	1.3	1.1
18	0.6	0.1	0.1	1.2	1.9	2.2	1.9	1.3	0.9	0.5	0	0

Las mediciones se realizaron a 22° 09' de latitud norte, 100° 58' longitud oeste y 1,877 metros de altitud de enero de 2005 a enero de 2012. Se considera el horario de verano en el centro de país (+1 hora, de abril a octubre). La unidad del índice UV representa 0.15 mJ/cm<sup>2</sup>/min (0.0025 mJ/cm<sup>2</sup>/seg).

### Tiempo para quemadura solar

Considerando la dosis promedio necesaria para el desarrollo de eritema cutáneo (DME) y los niveles de RUV ambiental, observamos que el fototipo III (blanco), al exponerse a medio día (12 a.m. a 2 p.m.), presentaría quemadura en 1 mes representativo de marzo-octubre en 21-33 min. El fototipo IV (moreno claro) en 22-42 min, y el tipo V (moreno oscuro) de 39-73 min. Estos estimados se muestran en la figura 2.

### Discusión

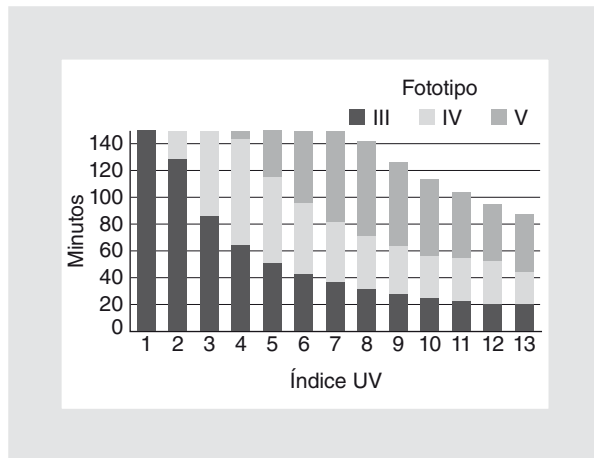
A nivel mundial el cáncer de piel se ha incrementado de forma exponencial, siendo la radiación solar el principal factor de riesgo<sup>8,11</sup>. La DME es el parámetro biológico de referencia que se utiliza como indicador de sensibilidad a RUV, siendo la quemadura solar su equivalente clínico<sup>1,4,5</sup>. Aparece de 6-24 h de la exposición y se manifiesta con eritema, calor, edema, prurito o dolor en la piel<sup>5</sup>.

Identificamos un periodo de 8 meses en que la RUV es extrema según la clasificación de la OMS<sup>7,17</sup>. En este intervalo, el 83% de la dosis diaria de RUV se recibe entre las 10 a.m. y las 4 p.m., y el 52% entre las 11:30 a.m. y las 2:30 p.m. Bajo estas condiciones se recomienda evitar la exposición entre 10 a.m.

y 4 p.m.; el uso de gafas oscuras; gorros o sombreros; ropa que proteja brazos, piernas y cuello, así como bloqueador solar<sup>7,17</sup>. Incluso en el periodo de menor intensidad solar, que corresponde al lapso de noviembre-febrero, la intensidad UV se considera alta (v. g. 7-8), y las recomendaciones de protección son similares. Como se demuestra en estudios previos, la mayoría de la población mexicana no sigue los cuidados recomendados<sup>2,3</sup>; por lo tanto, es muy probable que esto sea un factor que contribuye a que el cáncer de piel no melanoma sea uno de los más frecuentes en nuestro país<sup>12</sup>.

Comprobamos que en México existen básicamente tres fototipos o categorías de piel que se comportan de manera distinta según su sensibilidad a la radiación solar. En promedio existe una tolerancia dos a tres veces mayor del tipo moreno oscuro con respecto al blanco. Esto significa que mientras una persona de piel blanca presenta eritema a los 20 min de exposición, la piel morena oscura puede tolerar hasta 1 h o más sin que la presente.

Aunque la DME es un marcador de daño UV, es importante considerar que existen cambios nocivos a nivel celular y molecular a dosis inferiores que no originan enrojecimiento. Se ha observado que tanto los grupos celulares cutáneos, como el DNA, sistema inmunológico y la matriz extracelular manifiestan lesiones a



**Figura 2.** Minutos de exposición solar para el desarrollo de quemadura solar según el fototipo y niveles de radiación UV ambiental (Índice UV).

dosis incluso menores al 50% de la mínima eritematogénica<sup>19</sup>. En México, el daño continuo pero intermitente a dosis suberitematogénicas podría suceder en la población de piel morena oscura tras 18 min de exponerse al sol si el índice UV está en 10. Es importante destacar este hecho ya que una persona con fototipo V, a diferencia del III, no será capaz de percibir irritación UV, sin embargo esta dosis acumulada originará cambios degenerativos que se expresarán posteriormente<sup>4,5,10,11</sup>. En otro ejemplo, si el índice UV en una ciudad del país es 13, es probable que una persona mexicana de piel blanca sufra quemadura si se expone de 18-22 min al sol. Sin embargo, cambios cutáneos degenerativos podrían desarrollarse antes de 8 min de exposición solar<sup>1,9,10,19</sup>.

En conclusión, nuestro estudio hace evidente que nuestro país está expuesto de forma continua a niveles muy elevados de RUV. Proponemos la posibilidad de utilizar los índices UV satelitales de dominio público para estimar la intensidad de radiación en nuestro país como se utilizan en otras regiones del mundo<sup>7</sup>, ya que

existe una buena correlación con el valor terrestre. Los fototipos más vulnerables en México podrían ser el IV y V, ya que no perciben el daño UV de forma aguda como lo hace el fototipo III. Por lo tanto, la población de piel morena se expone de forma crónica sin advertir sus consecuencias, ya que el tiempo para que desarrollen quemadura solar puede sobrepasar 60 min de exposición en primavera y/o verano.

## Bibliografía

- Harrison GI, Young AR. Ultraviolet radiation-induced erythema in human skin. *Methods*. 2002;28:14-9.
- Castanedo-Cazares JP, Lepe V, Gordillo-Moscoco A, Moncada B. Dosis de radiación ultravioleta en escolares mexicanos. *Salud Pública Mex*. 2003;45:439-44.
- Castanedo-Cazares JP, Torres-Álvarez B, Medellín-Pérez ME, Aguilar-Hernández GA, Moncada B. Conocimientos y actitudes de la población mexicana con respecto a la radiación solar. *Gac Med Mex*. 2006;142:451-5.
- Pathak MA, Fanselow DL. Photobiology of melanin pigmentation: dose/response of skin to sunlight and its contents. *J Am Acad Dermatol*. 1983;9:724-33.
- Wolf R, Oumeish OY. Photodermatosis. *Clin Dermatol*. 1998;16:41-55.
- Fitzpatrick TB. The validity and practicality of sun-reactive skin types I through VI. *Arch Dermatol*. 1988;124:869-71.
- Geller AC, Hufford D, Miller DR, et al. Evaluation of the ultraviolet index: media reactions and public response. *J Am Acad Dermatol*. 1997;37:935-41.
- Kappes UP, Luo D, Potter M, Schulmeister K, Rüniger TM. Short- and long-wave UV light (UVB and UVA) induce similar mutations in human skin cells. *J Invest Dermatol*. 2006;126:667-75.
- Damian DL, Matthews YJ, Phan TA, Halliday GM. An action spectrum for ultraviolet radiation-induced immunosuppression in humans. *Br J Dermatol*. 2011;164:657-9.
- Yaar M, Gilchrist BA. Photoaging: mechanism, prevention and therapy. *Br J Dermatol*. 2007;157:874-87.
- Urbach F. Ultraviolet radiation and skin cancer of humans. *J Photochem Photobiol B*. 1997;40:3-7.
- Secretaría de Salud. Registro histopatológico de neoplasias malignas. Compendio mortalidad, morbilidad. México, D.F.: SSA; 2004.
- Landis J, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 1977;33:159-74.
- Sayre RM, Cole C, Billhimer W, Stanfield J, Ley RD. Spectral comparison of solar simulators and sunlight. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*. 1990;7:159-65.
- McKinlay AF, Diffey BL. A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. *CIE J*. 1987;6:17-22.
- Mackenzie LA. The analysis of the ultraviolet radiation doses required to produce erythematous responses in normal skin. *Br J Dermatol*. 1983;108:1-9.
- Long CS, Miller AJ, Lee HT, Wild JD, Przywarty RC, Hufford D. Ultraviolet index forecasts issued by National Weather Service. *Bulletin American Meteorological Society*. 1996;77:729.
- Diffey BL. What is light? *Photodermatol Photoimmunol Photomed*. 2002;18:68-74.
- Lavker RM, Gerberick GF, Veres D, Irwin CJ, Kaidbey KH. Cumulative effects from repeated exposures to suberythematous doses of UVB and UVA in human skin. *J Am Acad Dermatol*. 1995;32:53-62.