

بررسی خصوصیات بیوفیزیکی و روش‌های تصویربرداری پوست (بخش اول)

پوست، بزرگ‌ترین عضو بدن است که اعمال دفاعی و تنظیمی متعدد و مهمی دارد. با توجه به ساختار پیچیده‌ی آن، وضعیت نفوذپذیری پوست می‌تواند توسط عوامل مختلف خارجی و داخلی مانند مواد شیمیایی و فشارهای فیزیکی بیماری‌های مختلف پوستی و سیستمیک تغییر یابد. امروزه، روش‌های غیرتهاجمی مختلفی برای ارزیابی خصوصیات بیوفیزیکی پوست مورد استفاده قرار می‌گیرند. پارامترهایی مانند آب ازدست رفته از طریق پوست (Trans Epidermal Water Loss [TEWL]، هیدراتاسیون لایه‌ی شاخی اپی‌درم، pH و چربی سطح پوست، برای بررسی وضعیت سد اپی‌درمی ضروری است. استفاده از این روش‌ها برای ارزیابی سودمندی درمان بیماری‌های پوستی، اثر داروهای موضعی و محصولات آرایشی - زیبایی بسیار مهم است. هدف از این مقاله، مرور روش‌های مختلف و همچنین کاربرد آن‌ها جهت بررسی خواص بیوفیزیکی و بیومکانیکی پوست انسان می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: پوست، اندازه‌گیری، خصوصیات بیوفیزیکی، بیومتری، تصویربرداری

دریافت مقاله: ۹۱/۰۸/۱۳ پذیرش مقاله: ۹۱/۰۹/۱۳
پوست و زیبایی؛ زمستان ۱۳۹۱، دوره‌ی ۳ (۴): ۲۱۹-۲۲۶

دکتر علیرضا فیروز
دکتر علی رجبی استرآبادی
دکتر حامد زرتاب

مرکز آموزش و پژوهش بیماری‌های پوست
و جذام، دانشگاه علوم پزشکی تهران،
تهران، ایران

نویسنده‌ی مسئول:
دکتر علیرضا فیروز

تهران، خیابان طالقانی غربی، شماره ۴۱۵،
مرکز آموزش و پژوهش بیماری‌های پوست
و جذام.
پست الکترونیک:
firozali@sina.tums.ac.ir
تعارض منافع: اعلام نشده است.

مقدمه

توسط متخصصین پوست و پزشکان به‌منظور انجام آزمایشات و تشخیص بیماری‌های پوستی به کار می‌روند، تنها ارزیابی و پژوهش در سطح پوست را امکان‌پذیر می‌کنند و همچنین نتایج به‌دست‌آمده از این روش‌ها وابستگی بسیاری به توانایی‌های ذهنی و عینی افراد دارد.^۱

انجام مطالعات بافت‌شناسی بر روی نمونه‌های بیوپسی یا برش‌های مکانیکی تهیه‌شده از پوست برای پژوهش‌های جدید و پیشرفته‌ی پوستی نیز کاربرد دارند، اما این روش‌ها موانع و مضرات بسیاری دارند. این روش‌ها تهاجمی هستند و نیاز به جراحی و برداشت قسمتی از پوست دارند و نمونه‌ی به‌دست‌آمده از این طریق به مراحل آماده‌سازی برای بررسی‌های بعدی - که معمولاً مطالعات میکروسکوپی هستند - نیاز دارند.

هم‌چنین مراحل آماده‌سازی نمونه می‌تواند باعث تغییرات در آن شود که می‌توان به از دست‌دادن آب و آسیب مکانیکی اشاره کرد. به‌علاوه مطالعات و

پوست بزرگ‌ترین و خارجی‌ترین عضو بدن انسان است که اعمال دفاعی و تنظیمی متعددی را انجام می‌دهد.^۱ تقریباً به‌طور کامل تمام عملکرد سد پوستی در اپی‌درم و به‌طور خاص در لایه‌ی شاخی سطحی آن (Stratum Corneum (SC صورت می‌پذیرد.^۲ پوست تنها یک ارگان پوششی نیست بلکه شماری از اعمال مهم مانند حفاظت، دفع، جذب، تنظیم حرارت و تولید هورمون را انجام می‌دهد.^{۳،۴}

روش‌های غیرتهاجمی بسیاری جهت سنجش عملکرد پوست و ارزیابی تغییرات خصوصیات بیوفیزیکی آن هنگام استفاده از داروها، محصولات آرایشی، بهداشتی، زیبایی و بیماری‌های پوستی ایجاد شده‌اند.^{۵،۶} روش‌های تصویربرداری بسیاری برای بررسی پوست انسان طراحی شده‌اند که نیاز به روش‌های تهاجمی گذشته را کاهش داده است.

ابزارهای اولیه و روش‌های قدیمی که هم‌چنان

به دلیل پیچیدگی ساختار و عملکرد پوست یک پارامتر به تنهایی قادر به توصیف کامل سد پوستی نمی باشد. از این رو یک رویکرد چند پارامتری می تواند در مشاهده و ارزیابی عملکرد اپی درم مفید باشد. به همین منظور، اطلاعات به دست آمده از مشاهدات و بررسی های بالینی به همراه یک ارزیابی چند پارامتری به وسیله ای این روش های پیشرفته نوین، رویکردی مناسب برای مطالعات علمی بر روی پوست است.

۱. ارزیابی عملکرد اپی درم

ارزیابی سد اپی درمی به طور معمول شامل اندازه گیری میزان آب از دست رفته از طریق پوست (Trans Epidermal Water Loss [TEWL]) می باشد. از این رو اطلاعات مفیدی در مورد میزان نفوذپذیری

آزمایشات مورد نظر بر روی نمونه که در مراحل آماده سازی آسیب دیده است قابل تکرار نیست. روش های غیرتهاجمی جدید برای مطالعه بر پوست انسان این امکان را مهیا می سازند که مراحل بیماری های متعدد پوستی، اثرات درمانی داروهای مختلف و تأثیر محصولات آرایشی - زیبایی را در محل آن ها بر روی پوست مشاهده و ارزیابی کرد.^۷

روش های ارزیابی خصوصیات بیوفیزیکی پوست

روش های غیرتهاجمی مختلفی برای مشاهده و بررسی عملکرد فیزیولوژیک پوست با مزایایی نسبت به روش های قدیمی چون غیرتهاجمی بودن و دقت بالا معرفی شده اند (جدول ۱).

جدول ۱: روش های سنجش خصوصیات بیوفیزیکی پوست و کاربردهای آن.

کاربردها	تکنیک	خصوصیات بیوفیزیکی
یکپارچگی اپی درمال در شرایط پایه و اختلال تجربی وضعیت نفوذپذیری پوست، نظارت بر بیماری (به عنوان مثال درماتیت آتوپیک، OSAAD*)، اثر ترکیبات خارجی اعمال شده بر روی پوست	اندازه گیری میزان دفع آب	TEWL
محتوای آب اپی درم، هیدراتاسیون پوست، ارزیابی بیماری، اثربخشی کاربرد محصولات موضعی (داروها، مرطوب کننده)	روش های الکتریکی (اندازه گیری قابلیت هدایت، ظرفیت الکتریکی و امپدانس)، روش های مایکروویو، روش های اسپکترومتریک	هیدراتاسیون لایه ی شاخی
اسیدیته ی سطح پوست، نظارت های خاص بر جمعیت (گروه های قومی، افراد پوست حساس)، بررسی نقش pH برای ترمیم سد مختل شده، pH در اختلالات پوستی و سیستمیک، اثرات مواد موضعی (داروها، مواد آرایشی)	اندازه گیری الکتروود شیشه ای تخت، تصویربرداری طول عمر فلورسنت با استفاده از رنگ های فلورسنت حساس به pH، Tape-Stripping	pH سطح پوست
برآورد پارامترهای مختلف (سطح سبوم گاه به گاه، میزان ترشح سبوم، زمان جایگزینی سبوم، تحویل فوری سبوم، سرعت دفع فولیکولی، و نرخ پایدار ترشح سبوم)، ارزیابی نوع پوست، اثر ضدسبورئیک داروها / لوازم آرایشی و بهداشتی	روش های فتومتریک، پد کاغذی حلال استخراج کننده، بنتونیت خاک رس، نوار حساس به لیپید	لیپیدهای سطحی پوست
تحقیقات در مورد بهبود سد اپی درمال پس از اختلال، ترکیبات SC (چربی ها، پروتئین ها، آنزیم ها، سایتوکاین، RNA، DNA)، ارزیابی استرس اکسیداتیو، در دسترس بودن داروهای موضعی / فارماکوکینتیک	روش های Tape harvesting، حلال استخراج کننده	ترکیبات سطحی لایه ی شاخی
بررسی اثرات درمانی داروهای موضعی، ارزیابی میزان سودمندی محصولات زیبایی، پیگیری و تشخیص بسیاری از بیماری های پوستی	استاتیک و دینامیک (Cutometer)، بیومکانیکال پوست (Bio-tribometer و Echorheometer)	خصوصیات بیومکانیکال پوست

* Objective severity assessment of atopic dermatitis

اسپکترومتری با استفاده از مایکروویو، حرارت، رزونانس هسته‌ای مغناطیسی (nuclear magnetic resonance [NMR])، مادون قرمز و اسپکترومتری Raman از آن جمله می‌باشند^{۱۸و۱۹}.

بیشتر روش‌های به کار رفته برای سنجش محتوای آب SC بر پایه‌ی اندازه‌گیری میزان قدرت هدایت الکتریکی، ظرفیت الکتریکی یا مقاومت ظاهری به عنوان یک شاخص غیرمستقیم می‌باشند. اندازه‌گیری مقاومت ظاهری پوست با امواج رادیویی دارای تناوب پایین بیشتر محتوای آب در بافت‌های زنده‌ی پوست را منعکس می‌کند^{۲۰}. این مطلب در حالی است که قدرت هدایت الکتریکی با امواج رادیویی با تناوب بالا به طور انتخابی میزان هیدراتاسیون SC را نشان می‌دهد^{۲۱و۲۲}. اطلاعات به دست آمده از ظرفیت الکتریکی پوست توسط نرم‌افزار پردازش می‌شود و حاصل آن یک نقشه با تمام جزئیات کامل از ظرفیت الکتریکی است که با اصطلاح هیدراتاسیون پوست / خشکی (skin hydration/dryness) توصیف می‌شود.

در مجموع یک ارتباط و همبستگی میان میزان هیدراتاسیون SC و TEWL وجود دارد، بدین صورت که TEWL پایین در پاسخ به وضعیت هیدراتاسیون طبیعی لایه‌ی شاخی پوست است^{۲۳}. خلاف آن در مورد بیماری‌هایی با اختلال در سد اپی‌درمی مانند درماتیت آتوپیک و اکتیوزیس ولگاریس صادق می‌باشد که میزان بالایی از آب به علت پوست خشک و پوسته‌پوسته از دست می‌رود^{۲۴و۲۵}.

قابل ذکر است که تضادهایی در ارتباط با همبستگی میان TEWL و میزان هیدراتاسیون SC وجود دارند برای مثال در نواحی تشریحی خاص مانند پوست کف دست و پا در مراحل اولیه‌ی واکنش ناشی از سدیم لوریل سولفات (SLS-induced irritant reaction) و به همان اندازه در آسیب‌های وسیع سد پوستی، TEWL بالا به همراه مقادیر بالای هیدراتاسیون SC مشاهده می‌شود^{۲۶و۲۷}.

اپی‌درم در حالات غیرطبیعی، اختلالات پوستی تجربی و بیماری‌های پوستی فراهم می‌آید^۸.

اعتبار TEWL به عنوان پارامتری که منعکس کننده‌ی وضعیت نفوذپذیری اپی‌درم باشد، توسط همبستگی اندازه‌گیری میزان مطلق از دست دادن آب و تعیین میزان TEWL به اثبات رسیده است. TEWL پایین عموماً مشخصه‌ی عملکرد یک پوست سالم است^۸. از این رو مقادیر TEWL بالا در تعدادی از بیماری‌ها با عملکرد غیرطبیعی پوست (مانند پسوریازیس، درماتیت آتوپیک و اکتیوزیس ولگاریس) و اختلالاتی که به صورت تجربی ایجاد می‌گردد (مانند کاربرد پاک‌کننده‌ها، حلال‌ها، محرک‌های فیزیکی و cellophane tape stripping) مشاهده می‌شود^{۹-۱۱}.

اندازه‌گیری TEWL می‌تواند جهت ارزیابی میزان هموستاز سد پوستی و همچنین به صورت غیر مستقیم به منظور پیشگویی اثر استفاده‌ی ترکیبات و مواد موضعی بر روی پوست استفاده شود^{۱۲}. به علاوه TEWL می‌تواند یک پارامتر نشان‌دهنده‌ی میزان نفوذپذیری پوست نسبت به ترکیبات موضعی باشد. ظرفیت TEWL در راستای انعکاس ویژگی‌های سد پوستی، کاربرد آن را در مطالعاتی که جهت بررسی میزان سودمندی ترکیبات دارویی و زیبایی‌طراحی می‌شوند توجیه می‌کند^{۱۳و۱۴}.

۲. ارزیابی میزان هیدراتاسیون لایه‌ی شاخی اپی‌درم (SC)

محتوای آب SC بر میزان نفوذپذیری پوست، خصوصیات مکانیکی آن و همچنین بر تنظیم عملکرد آنزیم‌های هیدرولیتیک دخیل در پروسه‌ی طبیعی پوسته‌ریزی لایه‌ی کورنیوم تأثیرگذار است^{۱۵}.

ناتوانی SC در حفظ آب در خود موجب القاء خشکی پوست می‌شود و به عملکرد سد اپی‌درمی آسیب می‌رساند^{۱۶و۱۷}. روش‌های متعددی برای ارزیابی میزان هیدراتاسیون SC تعریف شده است که

۳. اندازه‌گیری میزان pH سطح پوست

محیط اسیدی سطح پوست یک نقش محوری در میزان نفوذپذیری اپی‌درم، هموستاز، ترمیم اپی‌درم آسیب‌دیده و حمایت ضد میکروبی غیراختصاصی برای پوست دارد.^{۲۸،۳۰} اهمیت اسیدمانتل در پوست در تعدادی از بیماری‌ها مانند درماتیت پوشک (Diaper dermatitis) نشان داده شده است.^{۳۱} میزان اسیدیته‌ی ناکافی SC نوزادان، آمونیاک حاصل از آلکالیزاسیون و آنزیم‌های مدفوعی فعال شده (تریپسین و لیپاز) باعث تحریک و ایجاد اختلالات آتی در سد پوستی می‌شوند. بنابراین تشکیل این سیکل معیوب و عدم ایجاد pH مناسب بر پوست در معرض تماس عامل ایجاد این بیماری است. علاوه بر آن در این محیط به علت اختلال در تشکیل لیپیدهای خارج سلولی SC و وجود یک pH خنثی ترمیم اپی‌درم آسیب‌دیده با تأخیر صورت می‌پذیرد.^{۳۲}

بنابراین اهمیت وجود pH مناسب در سطح پوست می‌تواند در پروسه‌ی درمان و هم‌چنین رویکردهای پیشگیری‌کننده برای بیماری‌های پوستی چون درماتیت آتوپیک، پسوریازیس و درماتیت پوشک مورد استفاده قرار گیرد.^{۲۵}

۴. اندازه‌گیری میزان چربی‌های سطح پوست

لایه‌ی هیدرولپیدی محافظ سطح پوست برای اولین بار در سال ۱۹۲۸ میلادی توسط Schade و Marchionini تعریف شد.^{۳۳} احتساب این لایه به‌عنوان یک جزء اصلی از لایه‌های پوست نقش چربی‌های سبوم را در مکانیسم دفاع ضد میکروبی پوست آشکار ساخت. سبوم توسط غدد سباسه و با تراکم بیشتر در ناحیه‌ی پیشانی، قفسه‌ی سینه و پشت ساخته می‌شود که به‌طور عمده شامل تری‌گلیسریدها، استرها و اسکوالن می‌باشد.^{۳۴}

نقش سبوم در سد اپی‌درمی به‌وسیله‌ی مطالعه بر روی موش‌های Asebia نشان داده شد.^{۳۵} در این مطالعه در موش‌هایی با هیپوپلازی غدد چربی در

پوست و در حالتی که هیچ اختلالی در میزان نفوذپذیری پوست وجود نداشت، هیپوپلازی اپی‌درم، علائم التهابی و کاهش شدید هیدراتاسیون SC (۰/۵۰) در ارتباط با کاهش میزان چربی‌های غدد سباسه مشاهده شد. هم‌چنین اختلالات سد پوستی به سطوح ناکافی گلیسرول که مشتق شده از هیدرولیز تری‌گلیسرید است، نسبت داده شد، بدین صورت که با کاربرد گلیسرول اگزوزن (نه از لیپیدهای سنتتیک مانند سبوم) بر روی پوست موش‌ها میزان هیدراتاسیون SC بهبود پیدا کرد.^{۳۵}

اندازه‌گیری عینی محتوای سبوم و میزان ترشح آن ممکن است به نظر غیرممکن باشد ولی روش‌های غیرتهاجمی مختلفی برای سنجش میزان ترشح سبوم ایجاد شده‌اند که می‌توان به solvent extraction, photometric assessment, cigarette paper pads, bentonite clay و lipid-sensitive tapes اشاره کرد.

از این تکنیک‌ها می‌توان جهت ارزیابی پارامترهای کمی مختلفی چون میزان سطوح سبوم، میزان ترشح سبوم، مدت زمان جایگزینی سبوم، میزان فوری ترشح سبوم، میزان دفع فولیکولی و میزان پایداری ترشح سبوم استفاده کرد.^{۳۶،۳۷}

۵. روش‌های برداشت مواد SC

از نقطه‌نظر دارویی روش‌های برداشت مواد سطحی SC و به‌طور خاص (Tape stripping [TS]) در مطالعات در مورد فراهمی زیستی، جذب و فارماکودینامیک داروهای موضعی استفاده می‌شود.^{۳۸} این روش برای بررسی فراهمی زیستی داروها و ترکیبات موضعی پوست چون داروهای ضدقارچ، کرم‌های ضدآفتاب و کورتیکواستروئیدهای موضعی استفاده می‌شود.^{۳۹-۴۱} تکنیک‌های مختلف دیگری برای نمونه‌برداری از مواد سطح پوست وجود دارد که تراشیدن به‌وسیله‌ی تیغ، حلال‌های موضعی استخراج‌کننده یا استفاده از چسب‌های مخصوص از آن جمله‌اند. با این وجود به‌طور معمول در پژوهش‌های

مکانیکی پوست را می‌توان به دو بخش روش‌های استاتیک و دینامیک تقسیم کرد.

روش‌های استاتیک شامل استفاده از استرس و محرک‌هایی است که موجب تغییرات مکانیکی پوست می‌شود که فشار، کشش، پیچش یا مکش از آن جمله هستند. این روش‌ها پاسخ و واکنش حاصله از این محرک‌ها را به‌عنوان یک پارامتر فاصله - زمان یا میزان نیروی لازم برای ایجاد واکنش مناسب، اندازه‌گیری می‌کنند. روش‌های دینامیک شامل استفاده‌های متعددی از نیرو برای القاء واکنش و پاسخ در پوست است. روش‌ها و ابزارهای مختلفی مانند Cutometer, Echorheometer و Bio-tribometer وجود دارند که جهت بررسی خصوصیات مکانیکی پوست به کار می‌روند. Marks و Edwards مطالعاتی را برای مقایسه‌ی روش‌های مختلف موجود ارزیابی خصوصیات بیومکانیکی پوست انجام دادند. این پژوهشگران تست‌های مختلف استاتیک و دینامیک را باهم مقایسه کردند و تفاوت‌های موجود را با جزئیات کامل ارائه کردند.^{۴۴}

علمی بر روی پوست از روش‌های Adhesive برای برداشت مواد SC استفاده می‌شود.^{۴۰}

روش TS تا حدودی به‌عنوان یک روش مناسب برای برآورد میزان جذب سیستمیک داروها و ترکیبات موضعی از طریق پوست شناخته می‌شود ولی در مقابل نتایج امیدوارکننده TS، این روش محدودیت‌هایی در سنجش فراهمی زیستی دارد^{۴۲ و ۴۳}. از این رو باید مطالعات بیشتری برای استانداردسازی این روش جهت ارزیابی فارماکوکینتیک داروهای موضعی صورت پذیرد.

۶. خصوصیات بیومکانیکال پوست

ارزیابی خصوصیات مکانیکی پوست انسان در زمینه‌های متعددی از علوم پزشکی دارای اهمیت است. این روش‌ها جهت پیگیری و تشخیص بسیاری از بیماری‌های پوستی و هم‌چنین برای بررسی اثرات درمانی داروهای موضعی استفاده می‌شود. در زیبایی نیز از این روش‌ها برای ارزیابی میزان سودمندی محصولات مختلف زیبایی روی پوست کاربرد دارند.^{۳۷} به‌طور عمده روش‌های آزمودن خصوصیات

References

1. Clark RA, Ghosh K, Tonnesen MG. Tissue engineering for cutaneous wounds. *J Invest Dermatol* 2007; 127: 1018-29.
2. Kalia YN, Pirot F, Guy RH. Homogeneous transport in a heterogeneous membrane: water diffusion across human stratum corneum in vivo. *Biophys J* 1996; 71: 2692-700.
3. Williams ML, Hanley K, Elias PM, Feingold KR. Ontogeny of the epidermal permeability barrier. *J Invest Dermatol Symp Proc* 1998; 3: 75-9.
4. Kalia YN, Nonato LB, Lund CH, Guy RH. Development of skin barrier function in premature infants. *J Invest Dermatol* 1998; 111: 320-6.
5. Darlenskib R, Sassninga S, Tsankovb N, Fluhra JW. Non-invasive in vivo methods for investigation of the skin barrier physical properties. *Eur J Pharm Biopharm* 2009; 72: 295-303.
6. Firooz A, Sadr B, Babakoochi S, et al. Variation of biophysical parameters of the skin with age, gender, and body region. *Scientific World Journal* 2012; 2012: 386936.
7. Seirafi H, Farsinejad K, Firooz A, et al. Biophysical characteristics of skin in diabetes: a controlled study. *J Eur Acad Dermatol Venereol* 2009; 23: 146-9.
8. Fluhr JW, Feingold KR, Elias PM. Transepidermal water loss reflects permeability barrier status: validation in human and rodent in vivo and ex vivo models. *Exp Dermatol* 2006; 15: 483-92.

9. Atrux-Tallau N, Huynh NT, Gardette L, et al. Effects of physical and chemical treatments upon biophysical properties and micro-relief of human skin. *Arch Dermatol Res* 2008; Suppl 2: 52-62.
10. Angelova-Fischer I, Bauer A, Hipler UC, et al. The objective severity assessment of atopic dermatitis (OSAAD) score: validity, reliability and sensitivity in adult patients with atopic dermatitis. *Br J Dermatol* 2005; 153: 767-73.
11. Davoudi SM, Keshavarz S, Sadr B, et al. Skin hydration and transepidermal water loss in patients with a history of sulfur mustard contact: a case-control study. *J Eur Acad Dermatol Venereol* 2009; 23: 940-4.
12. Tupker RA. Prediction of irritancy in the human skin irritancy model and occupational setting. *Contact Dermatitis* 2003; 49: 61-9.
13. Breternitz M, Kowatzki D, Langenauer M, et al. Placebo-controlled, double-blind, randomized, prospective study of a glycerol-based emollient on eczematous skin in atopic dermatitis: biophysical and clinical evaluation. *Skin Pharmacol Physiol* 2007; 21: 39-45.
14. Engel K, Reuter J, Seiler C, et al. Anti-inflammatory effect of pimecrolimus in the sodium lauryl sulphate test. *J Eur Acad Dermatol Venereol* 2008; 22: 447-50.
15. Chrit L, Bastien P, Sockalingum GD, et al. An in vivo randomized study of human skin moisturization by a new confocal Raman fiber-optic microprobe: assessment of a glycerol-based hydration cream. *Skin Pharmacol Physiol* 2006; 19: 207-15.
16. Verdier-Sevrain S, Bonte F. Skin hydration: a review on its molecular mechanisms. *J Cosm Dermatol* 2007; 6: 75-82.
17. Tupker RA, Pinnagoda J, Coenraads PJ, Nater JP. Susceptibility to irritants: role of barrier function, Skin dryness and history of atopic dermatitis. *Br J Dermatol* 1990; 123: 199-205.
18. Edwards C, Marks R. Hydration and atopic dermatitis, in: J. Fluhr, P. Elsner, E. Berardesca, H.I. Maibach (Eds.), *Bioengineering of the Skin–Water and Stratum Corneum*, CRC Press, LLC, 2005, pp. 323-30.
19. Rawlings AV, Harding CR. Moisturization and skin barrier function. *Dermatol Ther* 2004; 17: 43-8.
20. Mize MM, Aguirre Vila-Coro A, Prager TC. The relationship between postnatal skin maturation and electrical skin impedance. *Arch Dermatol* 1989; 125: 647-50.
21. Obata M, Tagami H. Electrical determination of water content and concentration profile in a simulation model of in vivo stratum corneum. *J Invest Dermatol* 1989; 92: 854-9.
22. Uhoda E, Leveque JL, Pierard GE. Silicon image sensor technology for in vivo detection of surfactant-induced corneocyte swelling and drying. *Dermatology* 2005; 210: 184-488.
23. Fluhr JW, Kuss O, Diepgen T, et al. Testing for irritation with a multifactorial approach: comparison of eight non-invasive measuring techniques on five different irritation types. *Br J Dermatol* 2001; 145: 696-703.
24. Sugarman JL, Fluhr JW, Fowler AJ, et al. The objective severity assessment of atopic dermatitis score: an objective measure using permeability barrier function and stratum corneum hydration with computer-assisted estimates for extent of disease. *Arch Dermatol* 2003; 139: 1417-22.
25. Firooz A, Gorouhi F, Davari P, et al. Comparison of hydration, sebum and pH values in clinically normal skin of patients with atopic dermatitis and healthy controls. *Clin Exp Dermatol* 2007; 32: 321-2.

26. Cua AB, Wilhelm KP, Maibach HI. Skin surface lipid and skin friction: relation to age, Sex and anatomical region. *Skin Pharmacol* 1995; 8: 246-51.
27. Gloor M, Senger B, Langenauer M, Fluhr JW. On the course of the irritant reaction after irritation with sodium lauryl sulphate. *Skin Res Technol* 2004; 10: 144-8.
28. Hachem JP, Crumrine D, Fluhr J, et al. PH directly regulates epidermal permeability barrier homeostasis, and stratum corneum integrity/cohesion. *J Invest Dermatol* 2003; 121: 345-53.
29. Fluhr JW, Behne MJ, Brown BE, et al. Stratum corneum acidification in neonatal skin: secretory phospholipase A2 and the sodium/hydrogen antiporter-1 acidify neonatal rat stratum corneum. *J Invest Dermatol* 2004; 122: 320-9.
30. Fluhr JW, Kao J, Jain M, et al. Generation of free fatty acids from phospholipids regulates stratum corneum acidification and integrity. *J Invest Dermatol* 2001; 117: 44-51.
31. Schmid-Wendtner MH, Korting HC. The pH of the skin surface and its impact on the barrier function. *Skin Pharmacol Physiol* 2006; 19: 296-302.
32. Mauro T, Holleran WM, Grayson S, et al. Barrier recovery is impeded at neutral pH, Independent of ionic effects: implications for extracellular lipid processing. *Arch Dermatol Res* 1998; 290: 215-22.
33. Schade H, Marchionini A. Der Sauremantel der Haut (nach Gaskettenmessung). *KlinWschr* 1928; 7: 12-4.
34. Youn SW, Kim SJ, Hwang IA, Park KC. Evaluation of facial skin type by sebum secretion: discrepancies between subjective descriptions and sebum secretion. *Skin Res Technol* 2002; 8: 168-72.
35. Fluhr JW, Mao-Qiang M, Brown BE, et al. Glycerol regulates stratum corneum hydration in sebaceous gland deficient (asebia) mice. *J Invest Dermatol* 2003; 120: 728-37.
36. Pierard GE, Pierard-Franchimont C, Marks R, et al. EEMCO guidance for the in vivo assessment of skin greasiness, The EEMCO group. *Skin Pharmacol Appl Skin Physiol* 2000; 13: 372-89.
37. Davoudi SM, Sadr B, Hayatbakhsh MR, et al. Comparative study of skin sebum and elasticity level in patients with sulfur mustard-induced dermatitis and healthy controls. *Skin Res Technol* 2010; 16: 237-42.
38. Herkenne C, Alberti I, Naik A, et al. In vivo methods for the assessment of topical drug bioavailability. *Pharm Res* 2008; 25: 87-103.
39. Alberti I, Kalia YN, Naik A, et al. In vivo assessment of enhanced topical delivery of terbinafine to human stratum corneum. *J Control Release* 2001; 71: 319-27.
40. Jacobi U, Weigmann HJ, Baumann M, et al. Lateral spreading of topically applied UV filter substances investigated by tape stripping. *Skin Pharmacol Physiol* 2004; 17: 17-22.
41. Caron D, Queille-Roussel C, Shah VP, Schaefer H. Correlation between the drug penetration and the blanching effect of topically applied hydrocortisone creams in human beings. *J Am Acad Dermatol* 1990; 23: 458-62.
42. Dupuis D, Rougier A, Roguet R, et al. In vivo relationship between horny layer reservoir effect and percutaneous absorption in human and rat. *J Invest Dermatol* 1984; 82: 353-6.
43. Rougier A, Dupuis D, Lotte C, et al. In vivo correlation between stratum corneum reservoir function and percutaneous absorption. *J Invest Dermatol* 1983; 81: 275-8.
44. Edwards C, Marks R. Evaluation of biomechanical properties of human skin. *Clin Dermatol* 1995; 13: 375-80.

Methods for skin biophysical analysis and imaging: A review (Part I)

Alireza Firooz, MD
Ali Rajabi Estarabadi, MD
Hamed Zartab, MD

Center for Research & Training in Skin
Diseases & Leprosy, Tehran University of
Medical Sciences, Tehran, Iran.

Skin is the largest organ of the integumentary system with multiples important functions. Due to its complex structure, the permeability skin status can be modified by different external and internal factors such as chemical and physical stresses, and several skin and systemic diseases. Today, different non-invasive methods are used to assess the skin barrier biophysical properties. The parameters such as transepidermal water loss, stratum corneum hydration, skin surface pH and skin surface lipids is essential for evaluation of the epidermal barrier status. Application of these methods is critical for evaluation of disease treatments, the effectiveness of topically applied drugs and cosmetic products. The aim of this article is to review application of several methods for skin biophysical and biomechanical properties in humans.

Keywords: skin, measurement, biophysical, biometry, imaging

Received: Nov 3, 2012

Accepted: Dec 3, 2012

Dermatology and Cosmetic 2012; 3 (4): 219-226

Corresponding Author:

Alireza Firooz, MD

No. 415, Taleqani Avenue, Tehran 14166-13675, Iran.

Email: firozali@sina.tums.ac.ir

Conflict of interest: None to declare