Korean J Fam Pract. 2014;4:116-121

미세먼지와 피부

Review

강진희, 송찬희[1], 옥선명[1], 박현정*

가톨릭대학교 의과대학 피부과학교실, [1]가정의학과교실

Particulate Matter and Skin

Jin-Hee Kang, Chan-Hee Song[1], Sun-Myeong Ock[1], Hyun-Jeong Park*

Departments of Dermatology and [1]Family Medicine, The Catholic University of Korea College of Medicine, Seoul, Korea

Particulate matter (PM) 10 is defined as fine dust less than 10 μm in diameter which–includes harmful materials such as sulphate, nitrate, acid, carbon compounds and, heavy metals. PM, which has become a serious issue in Korea, has adverse effects not only on the respiratory tract but also on the cardiovascular system, and skin. Exposure to PMs results in the aggravation of atopic dermatitis, extrinsic skin aging involving increasing wrinkles, and pigmented spots. It also can induce a burning sensation and pruritus in those with sensitive skin. Thus, we review the effects of PM exposure on human skin in the literature.

Keywords: Particulate Matter; Atopic Dermatitis; Skin Aging; Sensitive Skin

서론

최근 미세먼지(particulate matter) 등 대기오염이 호흡기질환을 비롯한 여러 질환을 유발하고 있다. 중국에서 건너 온 미세먼지에 우리나라의 공장이나 자동차 등에서 배출되는 대기오염물질이 더해져 우리 국민건강에 악영향을 미치고 있다. 특히 2014년 1월 스위스 다보스포럼에서 발표한 세계 178개국 환경성과지수(Environmental Performance Index) 중 대기오염 부분을 보면 우리나라는 대기오염 전체지수에서 세계 178개국 중 166위, 미세먼지 부분에서는 178개국 중 171위로 최하위 10%에 속했고 흔히 대기오염이 심각한 것으로 알려진 인도와 중국이 그 뒤를 이었다. 우리나라는 지난 겨울 2013년 12월부터 2014년 2월까지 총 10차례의 미세먼지주의보가 발령되었으며 발령횟수와 지속시간도 점차 늘어나고 있다. 미세먼지 등 대기오염물질이 호흡기질환과 심장질환을 유발한다고 알려져 있지만 신체에 가장 넓은 면적을 차지하고 외부자극에 대한 방어기전을 담당하고 있는 피부에 미치는 영향에 대한 관심은 상대적으로 적은 것이 현실이다. 이에 미세먼지 등 대기오염물질이 피부에 미치는 영향을 문헌고찰해보고자 한다.

Received: May 28, 2014, Accepted: June 5, 2014

*Corresponding Author: Hyun-Jeong Park
Tel: 02-3779-1046, Fax: 02-783-7604
E-mail: hjpark@catholic.ac.kr

Korean Journal of Family Practice
Copyright © 2014 by The Korean Academy of Family Medicine

미세먼지의 정의

미세먼지는 입자의 크기에 따라 지름이 10 μm 이하인 미세먼지(PM10), 지름이 2.5 μm 이하인 초미세먼지(PM2.5)로 분류된다.[1)] 미세먼지는 연소작용에 의해 발생하는 질산염(NO_3^-), 암모늄(NH_4^+), 황산염(SO_4^{2-}) 등의 이온 성분과 탄소화합물(carbon compounds), 금속화합물 등으로 이루어지며 구강과 점막에 의해 걸러지지 않아 폐포와 기관지에 붙어서 폐기능을 방해한다.[1,2)] 특히, PM2.5는 입자가 작아서 침투하기 쉬워 기관지, 폐 등에 붙어 각종 질환을 유발할 수 있다.[1)] 또한 세계보건기구(World Health Organization)는 미세먼지 중 디젤에서 배출되는 black carbon을 1급 발암물질로 지정했다. 장기간 미세먼지에 노출되면 천식, 기관지염 등의 호흡기질환은 물론 심혈관질환, 피부질환 등 각종 질병에 노출될 수 있다.[3-6)]

우리나라 환경부는 PM10을 대기오염물질로 규제하고 있

다. 현재 '환경정책기본법 시행령'에 따른 미세먼지의 대기환경기준은 24시간 평균 100 μg/m^3 이하이며, 1년간 평균 50 μg/m^3 이하이다. 2015년부터 시행되는 초미세먼지의 대기환경기준은 24시간 평균 50 μg/m^3 이하이며, 1년간 평균 25 μg/m^3 이하이다. 미세먼지 예보등급은 좋음(0–30 μg/m^3), 보통(31–80 μg/m^3), 약간 나쁨(81–120 μg/m^3), 나쁨(121–200 μg/m^3), 매우 나쁨(201–300 μg/m^3), 위험(301 μg/m^3 이상)으로 나뉘어진다.

중국의 산업화가 가속화되면서 중국의 미세먼지가 우리나라로 불어와서 우리나라 오염물질의 30–50%가 중국에서 발생(한 · 중 · 일 환경과학원)한 것으로 보고하였다. 중국의 석탄 의존도는 70% 가량(중국통계연보, 2011)[7]으로, 특히 석탄연료 사용이 증가하는 겨울철에 안개와 미세먼지, 황산화물, 질소산화물 등의 대기오염물질이 혼합되어 안개가 낀 것처럼 대기가 뿌옇게 되는 스모그가 자주 발생하는데, 이것이 서풍 또는 북서풍 계열의 바람을 타고 날아와 우리나라에서 배출된 오염물질과 함께 혼합되고 축적되어 미세먼지 농도가 높아진다(환경부, 2013).[8] 황사는 중국 몽골의 건조지대에서 강한 바람에 의해 높은 대기로 불어 올라간 흙먼지가 바람을 타고 이동해 지상으로 떨어지는 자연현상인 반면, 미세먼지는 자동차, 공장, 가정 등에서 사용하는 화석연료 사용으로 배출된 인위적 오염물질이 주요 원인이 된다는 점에서 2가지 용어에 차이가 있다(환경부, 2013).

미세먼지가 인체에 미치는 영향

미세먼지는 천식, 알레르기비염, 알레르기결막염, 아토피피부염 등 알레르기질환과 기관지염 등의 폐질환, 심부전, 심근경색 등의 심장질환을 악화시킨다.[3-6] 미세먼지는 폐포 속에 종양괴사인자 알파(tumor necrosis factor-α), 인터루킨-1베타(interleukin-1β)를 증가시키고,[9,10] 이러한 증가된 전염증성 사이토카인(proinflammatory cytokine)은 만성기관지염을 악화시킬 뿐만 아니라 아토피피부염과 같은 피부질환을 악화시킨다.[11] 290명의 방콕의 고등학생을 대상으로 한 연구에서 미세먼지는 알레르기결막염의 발생을 증가시키고 폐기능을 감소시켰다.[12] 미세먼지에 노출 시 노력성 호기중간유량(forced expiratory flow 25–75%)은 유의하게 감소하였는데 이를 통해 미세먼지가 소기관지에 영향을 끼침을 알 수 있다.[12] 또한 PM10 수치가 증가하면 최대호기유속(peak expiratory flow rate)이 감소하고 호흡기증상이 증가하며 천식 악화로 약물 복용이 증가한다는 보고가 있다.[3] 그리고 수많은 연구에서 PM2.5 증가가 심부전과 심근경색을 포함한 허혈성심질환의 이환율과 사망률을 높인다고 보고하였다.[4] 이는 미세먼지가 산화 스트레스, 염증반응, 혈전 생성, 응고작용, 심실기능 부전을 유발하여 심허혈, 혈압과 심박수 변화에 영향을 줄 수 있기 때문이다.[4] 그러나 최근 9,545명의 심혈관질환 사망자를 포함한 322,291명을 대상으로 한 유럽 12개 국가, 19개 코호트연구를 분석한 결과에 따르면 PM2.5나 PM10과 심혈관질환으로 인한 사망률과 관계가 없다는 보고도 있어 이에 대한 연구는 좀 더 필요할 것으로 생각된다.[5]

미세먼지가 피부에 미치는 영향

1. 미세먼지와 아토피피부염

아토피피부염은 만성적인 소양감이 있는 습진피부질환으로 특히 아동기에 많은 영향을 끼친다.[11] 아토피피부염의 유병률은 전 세계적으로 5–10%로 지난 수십 년 동안 계속적으로 증가하고 있다.[11] 유병률이 높아지는 것을 통해 아토피피부염이 유전적 소인뿐 아니라 환경적 요소에 의해 발생한다는 것을 알 수 있다.[11] 몇몇 연구에서 환경적 요소 중 산업화와 도시화가 아토피피부염의 유병률을 증가시킨다고 보고하였다.[13-15] 그러나 아토피피부염과 산업화와 도시화가 상관관계가 없다는 보고도 있어 이에 대한 역학적 연구가 좀 더 필요할 것으로 생각된다.[13-15]

미세먼지를 포함한 대기오염이 알레르기질환을 가진 환자의 건강에 영향을 끼친다는 것은 잘 알려져 있다.[11,12] 특히 대기오염물질 중 미세먼지는 표피 장벽기능을 손상시키고 아토피피부염을 악화시킨다.[11,12,16,17] 정확한 기전은 불명확하지만 미세먼지에 의해 유발된 염증반응이 원인으로 생각된다.[16] 미세먼지는 호중구와 호산구의 침윤, immunoglobulin E의 증가, 산도 감소와 연관이 있다고 한다.[18,19] 또한 미세먼지는 집먼지 진드기의 운반체로 작용하여 아토피피부염을 악화시킬 수 있다.[20]

국내 Kim 등[11]의 연구에서는 9개의 유치원에서 5세 이하 어린이 425명 중 아토피피부염으로 진단된 34명(8%)을 대상으로 실내 미세먼지와 아토피피부염의 관계를 보고하였다. 실내공기를 정화하여 9개 유치원 평균 미세먼지(PM10) 수치를 182.7 μg/m^{3}에서 73.4 μg/m^{3}로 낮추고 7개월 후에 평균 Eczema Area and Severity Index score가 2.37에서 1.19로 낮아지면서 아토피피부염의 호전을 보였고 유병률도 8%에서 7.06%로 감소하였다.[11] 또 다른 국내 연구에서 18개월 동안 아토피피부염으로 진단된 평균 연령 35개월인 22명을 대상으로 실외 미세먼지와 아토피피부염의 관계를 보고하였다.[16] 아토피피부염의 증상은 소양감과 수면장애는 0점에서 10점까지 세분하여 측정하였고 홍조, 부종, 삼출의 정도는 0에서 3점까지

세분하여 측정하였다. 아토피피부염증상은 홍조, 부종, 삼출 중 적어도 한가지가 동반되고 소양감이나 수면장애가 4점 이상일 경우로 정의하였다. 그리고 미세먼지의 농도는 아토피피부염증상을 보고한 당일, 하루 전날, 이틀 전날을 측정하여 분석하였다. 연구기간 계절별로 환자가 아토피피부염증상이 있는 날의 미세먼지의 농도와 아토피피부염증상이 없을 때의 미세먼지 농도를 비교하였다. 미세먼지 농도를 비교한 결과는 연구기간 내내 아토피피부염 증상이 있을 때가 없을 때보다 미세먼지 농도가 높았다. 이 연구에서는 실외 PM10이 1 μmg/m^3 증가할 경우 익일 아토피피부염증상이 0.44% 증가하고 PM2.5가 1 μmg/m^3 증가할 경우 익일 아토피피부염증상이 0.67% 증가하는 것을 보여 주었다.[16] 따라서 아토피피부염을 조절하기 위해서 실외 미세먼지와의 접촉을 줄이고 실내 미세먼지의 농도를 낮추는 노력이 필요하다.

그러나 몇몇 연구에서 미세먼지가 아토피 피부염악화와 무관하다는 보고가 있다.[21] 프랑스의 최근 연구에서 대중교통으로 인한 미세먼지(PM10)와 아토피피부염이 무관하다는 보고를 하였다.[21] 또한 8개 스페인 지역에서 6–7세의 213,111명의 아동들을 대상으로 한 연구에서도 미세먼지가 아토피피부염을 악화시키지 않는다고 보고하였다.[22] 따라서 이에 대한 좀 더 많은 전향적 역학적 연구와 미세먼지가 아토피피부염 등 염증성피부질환에 미치는 영향에 대한 정확한 기전을 밝히는 추후 연구가 필요할 것으로 생각된다.

2. 미세먼지와 피부노화

일반적인 노화는 유전적으로 결정되고 시간의 경과에 의해 일어나며 이를 내인적 피부노화라고 한다.[23] 반면에 환경요소에 의해 발생하는 피부노화는 외인적 피부노화과정이라고 한다.[23] 각각의 노화과정은 특징적인 피부노화증상을 보인다.[23] 내인적 피부노화는 피부가 건조하고 잔주름이 생기고 탄력성이 감소하는 소견을 보인다.[23] 반면에 외인적 피부노화는 거친 주름과 불균일한 색소침착을 특징으로 한다.[23] 외인적 피부노화에 잘 알려진 환경적 요소는 자외선 노출과 흡연이다.[23] 최근 역학적 연구에서 미세먼지 노출이 주름과 색소반점이 증가되는 피부노화와 직접적 관련이 있다는 것을 밝혀냈다.[24]

70–80세의 400명의 유럽 백인 여성을 대상으로 한 연구에서 미세먼지가 저명한 팔자주름 형성과 관계있다는 것을 밝혔다.[24] 또한 대중교통으로 인한 공해로 그을음이 미터당 0.5×10^{-5} 증가하고 미세먼지가 매년 제곱 킬로 미터당 475 kg 증가함에 따라 이마와 뺨에 색소반점이 20% 이상 증가한 것을 보고하였다.[24] 이는 미세먼지가 모낭을 통해 침투하여 멜라닌세포가 있는 깊은 부위까지 도달하여 미세먼지 표면에 흡착된 다환방향족탄화수소(polycyclic aromatic hydrocarbon, PAH)를 방출하여 피부세포기능에 영향을 주어 색소반점이 발생할 것으로 추론하고 있다.[24] 최근에 생체 외 실험에서 PAH와 같은 aryl hydrocarbon receptor (AhR)의 리간드(ligand)가 멜라닌세포를 증식시킨다는 것을 보여주었다.[25] 이는 PAH가 연소되어 미세먼지의 표면에 빈번히 붙기 때문에 미세먼지 노출과 색소반점과의 관계에 과학적인 근거를 제공한다.[24] 미세먼지가 피부노화를 일으키는 주된 기전은 활성산소(reactive oxygen species)의 생산이다.[26] 미세먼지는 미토콘드리아에서 활성산소를 생산하여 미토콘드리아에 손상을 주어 콜라겐 합성을 감소시키고 분해를 증가시켜 피부노화를 일으킬 수 있는 유기화학물질과 금속의 매개체로 작용한다(Figure 1).[27] 또 다른 견해는 도시의 미세먼지 표면에 흡착된 PAH가 AhR를 통하여 생체 이물 대사를 활성화하여 콜라겐 분해를 증가하여 피부노화가 발생한다고 한다.[28] 미세먼지는 콜라겐 합성을 감소시키고 콜라겐 분해를 증가시켜 외인적으로 노화된 피부의 특징적인 모습을 띄게 한다.[23] 콜라겐의 파괴는 내인적 피부노화과정에서도 일어나는 현상이나 외부환경 노출에 의해서 증가된다.[23]

피부는 미세먼지와 직접적으로 접촉하는 가장 바깥쪽 장벽으로 미세먼지로 인해 피부가 손상되고 피부노화를 일으킬 가능성이 크다.[23] 따라서 미세먼지로 인한 피부노화를 방지하기 위하여 마스크 착용 등 미세먼지와 접촉을 줄이는 노력을 할 뿐만 아니라 미세먼지가 외인적 피부노화를 야기하는 이러한 분자학적 기전에 기반을 둔 새로운 치료방법에 대한 연구가 필요하겠다.[23]

3. 미세먼지와 민감성 피부

민감성 피부는 외부의 자극물질이나 알레르기 유발물질, 환경의 변화, 또는 신체 내부적인 변화에 대하여 정상 피부보다 민감하고 과장된 반응을 일으켜 자극증상이나 피부염을 잘 일으킨다.[29-31] 현대인의 피부는 미세먼지, 공해, 식생활, 생활환경의 변화, 복잡한 인간관계, 질병, 스트레스, 내적 혹은 외적 자극을 받는데 이러한 자극에 민감한 피부를 민감성 피부라고 한다.[29-31] 민감성 피부에서는 눈에 보이는 객관적 증상이나 구체적인 피부질환으로 나타날 수도 있으나 작열감, 소양감 등 단순히 주관적 자극만을 호소하기도 한다.[29-31]

민감성 피부를 유발시키는 원인으로 신경학적 반응의 과도한 증가, 면역반응의 증가, 피부장벽의 손상이 있다.[32] 첫째로, 민감성 피부 환자의 피부는 입력신호가 과장되어 있으며, 작은 피부자극에도 과도한 신경학적 반응을 일으키는데 이는

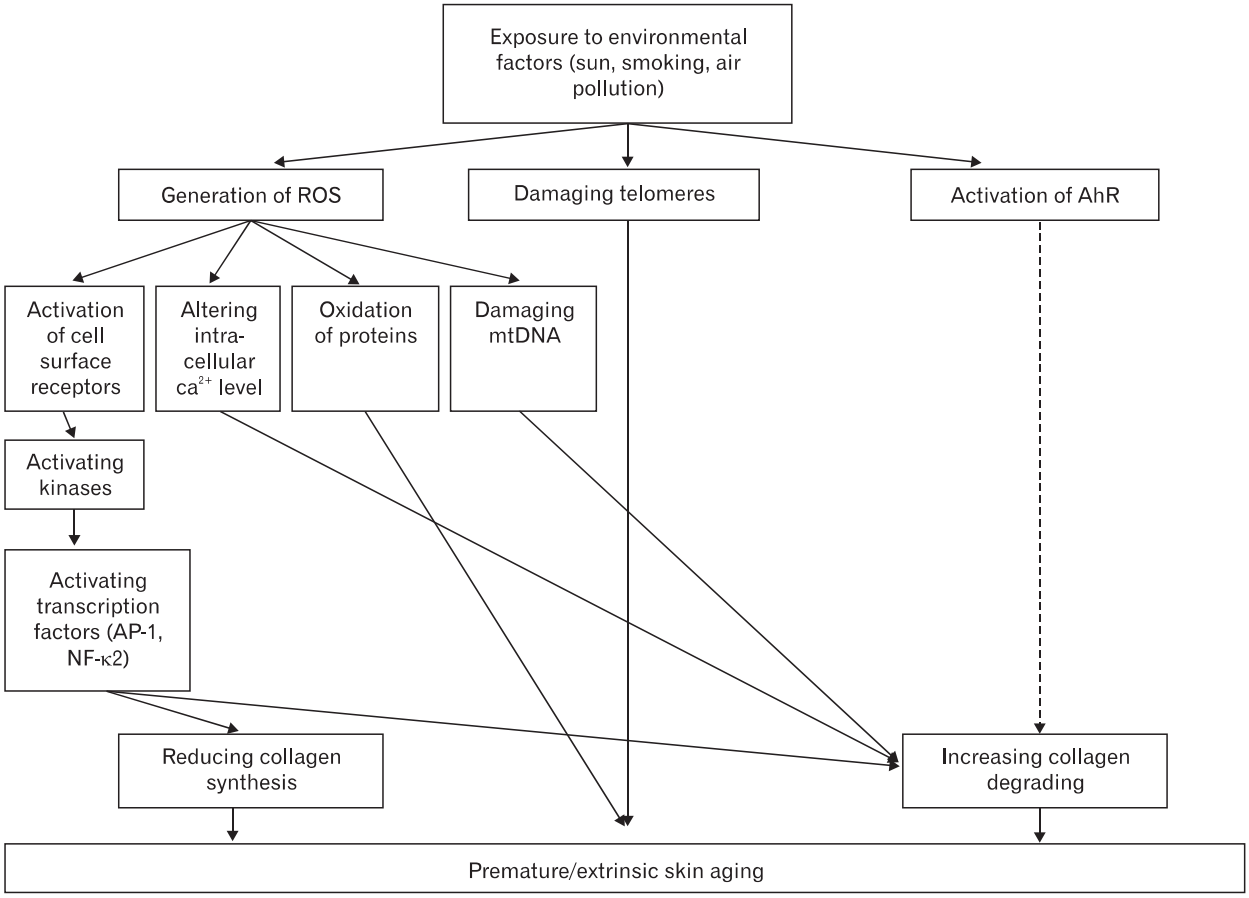


Figure 1. Pathways from environmental exposures to premature/extrinsic skin aging. ROS: reactive oxygen species, mtDNA: mitochondrial DNA, AhR: arylhydrocarbon receptor. From Vierkotter A, Krutmann J. Dermatoendocrinol 2012;4:227-31.[21]

정상인과는 다른 신경 말단을 가지고 있거나, 좀 더 많은 신경전달물질을 분비하거나 혹은 신경전달물질의 제거가 느리거나, 특별한 신경전달과정을 가지고 있거나 만성적으로 신경말단에 손상을 입어 유발된 것이라고 제시되고 있다.[32] 둘째, 민감성 피부 환자들의 피부는 면역반응이 증가되어 과도한 항원항체반응이 일어나 피부자극이나 임상증상을 유발한다고 생각한다.[32] 셋째, 정상적인 피부의 장벽기능을 유지하지 못하여 각종 자극원에 대한 적절한 방어를 하지 못하여 여러 생리학적 반응이 뒤따르게 된다고 한다.[32]

2011년 일본에서 1,500명을 대상으로 시행한 역학적 연구에서 52.84% 남성과 55.98% 여성이 본인이 민감성 피부라고 대답하였다.[33] 민감성 피부가 있는 대상자들은 정상 피부인 사람들에 비해 여러 원인들, 즉 감정, 추위, 열, 태양, 건조한 공기, 물, 에어컨디션, 미세먼지, 온도 변화에 의해 발진이나 자극감이 더 잘 생긴다고 하였다.[33] 민감성 피부를 가진 사람들 중 39.29%, 정상 피부를 가진 사람들 중 12.45%에서 미세먼지를 자극요인으로 언급하였다.[33] 민감성 피부를 지닌 사람들이 약 3배 이상 정상 피부를 가진 사람에 비해 미세먼지에 자극감을 느꼈다.[33] 따라서 이를 통해 최근 중국에서 불어오는 미세먼지는 아토피피부염을 악화시키고 피부노화를 진행시킬 뿐 아니라 민감성 피부를 가진 사람들에게 피부염과 작열감과 소양감을 증가시킬 수 있다는 것을 알 수 있다.

결론

미세먼지는 염증반응을 일으키고 피부장벽에 손상을 주어 아토피피부염을 악화시킬 수 있다.[16,17] 그리고 미세먼지는 미토콘드리아에서 활성산소(reactive oxygen species)를 생산하여 콜라겐 합성을 감소시키고 콜라겐 분해를 증가시켜 주름 등 현저한 피부노화를 일으킬 수 있다.[23] 또한 미세먼지에 붙은 PAH가 멜라닌세포를 증식시켜 얼굴에 색소반점을 증가시킬 수 있다.[24] 특히 아시아인은 피부 색깔이 백인보다 어둡기 때문에 미세먼지로 인한 노화현상으로 색소반점이 증가할 위험이 높다.[34] 또한 미세먼지는 민감성 피부를 가진 사람들에

게 피부염과 작열감과 소양감을 증가시킬 수 있다. 따라서 미세먼지로부터 피부를 보호하기 위해 미세먼지와 접촉을 줄이고 미세먼지를 몸 속에서 배출하기 위한 노력을 하고 실내의 경우 미세먼지 농도를 낮추기 위한 공기정화의 노력을 해야 할 것이다. 그리고 미세먼지가 피부에 유해를 주는 분자학적 기전에 대한 연구를 통해 분자학적 기반을 둔 새로운 치료법을 모색해야 하겠다.[23)]

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by Basic Science Research program through the National Research Foundation of Korea funded by the Ministry of Education, Science and Technology (2012046972).

요약

미세먼지는 입자의 크기에 따라 지름이 10 μm 이하인 미세먼지(PM 10), 지름이 2.5 μm 이하인 초미세먼지(PM 2.5)로 분류되며 연소작용에 의해 발생하는 질산염, 암모늄, 황산염 등의 이온 성분과 탄소화합물, 금속 화합물 등으로 이루어져 있다. 최근 심각한 환경문제로 대두되고 있는 미세먼지는 호흡기질환과 심장질환을 유발한다고 알려져 있지만 피부에 미치는 영향에 대한 관심은 상대적으로 적은 것이 현실이다. 미세먼지는 아토피피부염을 악화시키고 피부노화를 촉진시키며 민감성 피부가 있는 사람들에게 피부염, 자극감, 소양감을 증가시킬 수 있다. 이에 미세먼지가 피부에 미치는 영향을 문헌고찰해보고자 한다.

중심단어: 미세먼지; 아토피피부염; 피부노화; 민감성 피부

REFERENCES

1. Yin L, Niu Z, Chen X, Chen J, Zhang F, Xu L. Characteristics of water-soluble inorganic ions in PM2.5 and PM 2.5-10 in the coastal urban agglomeration along the Western Taiwan Strait Region, China. Environ Sci Pollut Res Int 2014;21:5141-56.
2. Dockery DW, Pope CA 3rd, Xu X, Spengler JD, Ware JH, Fay ME, et al. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. N Engl J Med 1993;329:1753-9.
3. Pope CA 3rd, Dockery DW, Spengler JD, Raizenne ME. Respiratory health and PM10 pollution: a daily time series analysis. Am Rev Respir Dis 1991;144(3 Pt 1):668-74.
4. Gold DR, Mittleman MA. New insights into pollution and the cardiovascular system: 2010 to 2012. Circulation 2013;127:1903-13.
5. Wang M, Beelen R, Stafoggia M, Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Hoffmann B, et al. Long-term exposure to elemental constituents of particulate matter and cardiovascular mortality in 19 European cohorts: results from the ESCAPE and TRANSPHORM projects. Environ Int 2014;66:97-106.
6. Schwartz J, Slater D, Larson TV, Pierson WE, Koenig JQ. Particulate air pollution and hospital emergency room visits for asthma in Seattle. Am Rev Respir Dis 1993;147:826-31.
7. Directorate-General of Budget, Accounting and Statistics. Statistical yearbook of the Republic of China 2011 [Internet]. Taiwan: Directorate-General of Budget, Accounting and Statistics; 2012 [cited 2014 Jun 4]. Available from: http://ebook.dgbas.gov.tw/public/Data/33716344453.pdf.
8. Ministry of Environment. Recent status of fine dust and countermeasures. Sejong: Ministry of Environment; 2013.
9. Kim JH, Jeon HK, Kim MK, Kyung SY, An CH, Lee SP, et al. Particulate matter from Asian dust storms induces the expression of proinflammatory cytokine in A549 epithelial cells. Tuberc Respir Dis 2006;60:663-72.
10. Li TZ, Lee SJ, Park SJ, Chang BJ, Lee JH, Kim KS, et al. The effects of air-borne particulate matters on the alveolar macrophages for the TNF-alpha and IL-1beta secretion. Tuberc Respir Dis 2006;60:554-63.
11. Kim HO, Kim JH, Cho SI, Chung BY, Ahn IS, Lee CH, et al. Improvement of atopic dermatitis severity after reducing indoor air pollutants. Ann Dermatol 2013;25:292-7.
12. Pothikamjorn SL, Ruxrungtham K, Thampanitchawong P, Fuangthong R, Srasuebkul P, Sangahsapaviriyah A, et al. Impact of particulate air pollutants on allergic diseases, allergic skin reactivity and lung function. Asian Pac J Allergy Immunol 2002;20:77-83.
13. Kilpelainen M, Terho EO, Helenius H, Koskenvuo M. Farm environment in childhood prevents the development of allergies. Clin Exp Allergy 2000;30:201-8.
14. McNally NJ, Williams HC, Phillips DR, Strachan DP. Is there a geographical variation in eczema prevalence in the UK?: evidence from the 1958 British Birth Cohort Study. Br J Dermatol 2000;142:712-20.
15. Riedler J, Eder W, Oberfeld G, Schreuer M. Austrian children

living on a farm have less hay fever, asthma and allergic sensitization. Clin Exp Allergy 2000;30:194-200.
16. Kim J, Kim EH, Oh I, Jung K, Han Y, Cheong HK, et al. Symptoms of atopic dermatitis are influenced by outdoor air pollution. J Allergy Clin Immunol 2013;132:495-8.e1.
17. Huss-Marp J, Eberlein-Konig B, Breuer K, Mair S, Ansel A, Darsow U, et al. Influence of short-term exposure to airborne Der p 1 and volatile organic compounds on skin barrier function and dermal blood flow in patients with atopic eczema and healthy individuals. Clin Exp Allergy 2006;36:338-45.
18. Diaz-Sanchez D. The role of diesel exhaust particles and their associated polyaromatic hydrocarbons in the induction of allergic airway disease. Allergy 1997;52(38 Suppl):52-6.
19. Nikasinovic L, Just J, Sahraoui F, Seta N, Grimfeld A, Momas I. Nasal inflammation and personal exposure to fine particles PM2.5 in asthmatic children. J Allergy Clin Immunol 2006;117:1382-8.
20. Sharma HP, Hansel NN, Matsui E, Diette GB, Eggleston P, Breysse P. Indoor environmental influences on children's asthma. Pediatr Clin North Am 2007;54:103-20, ix.
21. Penard-Morand C, Raherison C, Charpin D, Kopferschmitt C, Lavaud F, Caillaud D, et al. Long-term exposure to close-proximity air pollution and asthma and allergies in urban children. Eur Respir J 2010;36:33-40.
22. Suarez-Varela MM, Gallardo-Juan A, Garcia-Marcos L, Gimeno-Clemente N, Silvarrey-Varela AL, Miner-Canflanca I, et al. The impact of atmospheric pollutants on the prevalence of atopic eczema in 6-7-year-old schoolchildren in Spain: ISAAC Phase III. Iran J Allergy Asthma Immunol 2013;12:220-7.
23. Vierkotter A, Krutmann J. Environmental influences on skin aging and ethnic-specific manifestations. Dermatoendocrinol 2012;4:227-31.
24. Vierkotter A, Schikowski T, Ranft U, Sugiri D, Matsui M, Kramer U, et al. Airborne particle exposure and extrinsic skin aging. J Invest Dermatol 2010;130:2719-26.
25. Krutmann I, Lux B, Luecke S, Fritsche E, Abel J, Esser C, et al. Involvement of arylhydrocarbon receptor (AhR-) signaling in skin melanogenesis. J Invest Dermatol 2008;128:S220.
26. Donaldson K, Tran L, Jimenez LA, Duffin R, Newby DE, Mills N, et al. Combustion-derived nanoparticles: a review of their toxicology following inhalation exposure. Part Fibre Toxicol 2005;2:10.
27. Li N, Sioutas C, Cho A, Schmitz D, Misra C, Sempf J, et al. Ultrafine particulate pollutants induce oxidative stress and mitochondrial damage. Environ Health Perspect 2003;111:455-60.
28. Menichini E. Urban air pollution by polycyclic aromatic hydrocarbons: levels and sources of variability. Sci Total Environ 1992;116:109-35.
29. Thiers H. Peau sensible. In: Thiers H, editor. Les cosmetiques. 2nd ed. Paris: Masson; 1986. p. 266-8.
30. Muizzuddin N, Marenus KD, Maes DH. Factors defining sensitive skin and its treatment. Am J Contact Dermat 1998;9:170-5.
31. Berardesca E, Fluhr JW, Maibach HI. What is sensitive skin? In: Berardesca E, Fluhr JW, Maibach HI, editors. Sensitive skin syndrome. New York: Taylor and Francis; 2006. p. 1-6.
32. Draelos ZD. Sensitive skin: perceptions, evaluation, and treatment. Am J Contact Dermat 1997;8:67-78.
33. Kamide R, Misery L, Perez-Cullell N, Sibaud V, Taieb C. Sensitive skin evaluation in the Japanese population. J Dermatol 2013;40:177-81.
34. Tschachler E, Morizot F. Ethnic differences in skin aging. In: Gilchrest BA, Krutmann J, editors. Skin Aging. Berlin: Springer; 2006. p. 23-33.