

초음파 사용이 건강한 여성의 피부 탄력과 피부 깊은 탄력 개선에 미치는 영향

고민주¹ · 김기수² · 장은미³ · 오재섭^{4*}

¹HSD 엔진 KEMA 치료실 실장, ²(주)제이엘유 대표, ³인제대학교 물리치료학과 강사,
^{4*}인제대학교 물리치료학과 교수

Effects of Ultrasound on Skin Elasticity and Elasticity of Deeper Skin in Healthy Women

Min-Joo Ko, PT, Ph.D¹ · Gi-Soo Kim² · Eun-Mi Jang³ · Jae-Seop Oh^{4*}

¹Dept. of KEMA Center, HSD engine, Manager

²JLU Co., Chief Executive Officer

³Dept. of Physical Therapy, Inje University, Instructor

^{4*}Dept. of Physical Therapy, Inje University, Professor

Abstract

Purpose : Aging is reflected on the face of women due to the depletion of collagen and hydration in the facial skin overtime. This study investigated the effect of multiple SONO[®] ultrasound for a 4-week period on the skin health by measuring the skin elasticity and deeper skin elasticity in the tested women subjects.

Methods : Twenty healthy women were recruited for this experiment. All the participants applied multiple ultrasound device (SONO[®]) during this experiment. The SONO[®] device was set to ANTI-AGING function and five power steps such as 1, 3, 10 and 17 MHz were used during this experiment, and directly contacted with the facial skin. Specifically, the probe was contacted with the entire face except for the nose and eyes for 10 min on each side of the face every day and repeated for 4 weeks. The skin elasticity and the elasticity of deeper skin were measured at three times (0, 2, 4 weeks) using a Ballistometer and dermal torque meter, respectively. The one way repeated ANOVA was used to compare the skin elasticity and the elasticity of deeper skin among three times (0, 2, 4 weeks).

Results : The skin elasticity ($p<.05$) and elasticity of deeper skin ($p<.05$) were significantly increased at 2 weeks and 4 weeks of intervention compared to that at 0 weeks. For the skin elasticity, there was no significant difference between 2 and 4 weeks of intervention ($p>.05$). For the elasticity of deeper skin, it increased significantly at 4 weeks compared to 2 weeks of intervention ($p<.05$).

Conclusion : These findings suggest that applying multiple SONO[®] ultrasound to the facial skin of healthy women for 4 weeks, can increase the skin elasticity and elasticity of deeper skin by supporting epidermal hydration and dermal collagen production.

Key Words : anti aging, elasticity of deeper skin, facial skin, healthy women, skin elasticity, ultrasound

*교신저자 : 오재섭, ysrehab@inje.ac.kr

제출일 : 2022년 12월 22일 | 수정일 : 2023년 1월 25일 | 게재승인일 : 2023년 2월 10일

I. 서론

1. 연구의 배경 및 필요성

최근 지속적인 경제발전과 평균수명의 연장으로 개인의 행복한 삶과 노화 방지에 대한 욕구가 높아지고 있지만, 인체의 노화 과정 중 피부의 변화는 누구도 피해 갈 수 없는 숙명적인 요소이다(Park, 2022). 피부노화는 나이가 들어감에 따라 자연스럽게 나타나는 내인성 피부노화(intrinsic aging)와 자외선 노출을 포함한 외적인 요인에 의한 외인성 노화로 구분된다(Lee 등, 2017). 노화가 진행됨에 따라 피부의 구조적, 기능적 변화가 나타나며, 그 결과 외부 환경에 대해 반응하는 능력을 떨어뜨린다. 이전 연구에 따르면 노화는 콜라겐양과 콜라겐 섬유 길이의 감소와 같은 세포외기질(extracellular matrix)의 구조적 변화를 유도하여 진피층의 탄력을 감소시킨다고 보고 하였다(Haydont 등, 2019; Lee 등, 2022).

콜라겐은 세포외기질을 구성하는 주요 구조 단백질(structural proteins) 중 하나로, 인장강도 부여, 세포구조 유지 등 인체를 보호하는 필수적인 역할을 수행한다(Subhan 등, 2015; Wittig-Silva 등, 2014). 특히 피부 진피층의 90%를 차지하는 콜라겐의 피부 내 질적 양적 변화는 다양한 대사활성 감소를 유도하여 피부노화를 일으킨다(Shin 등, 2019; Varani 등, 2000). 또한, 나이가 증가함에 따라 아교섬유 다발들은 작아지고 교원질의 총량도 감소하며, 진피 내의 세포외 물질들인 프로테오글리칸(proteoglycan)과 히알루론산(hyaluronic acid)의 농도가 감소하면서 수화(hydration) 정도가 감소하여 피부의 탄력 성질이 감소하게 되는 것이다(Lee, 2005).

피부 탄력성 변화는 피부노화와 관련된 변화 중 가장 두드러지게 나타나는 변화이며 이를 막기 위해 상당한 노력이 이루어지고 있다. 성형외과나 피부과 분야에서 얼굴 피부 탄력 개선을 위해 보툴리눔독신(botulinum toxin) 주사, 화학적 필링(chemical peeling), 더멀 필러(dermal fillers), 페이스리프트(facelift), 레이저 치료(laser treatment)가 사용되고 있다(Brandt & Cazzaniga, 2008; Butler 등, 2001; Hexsel 등, 2011; Patrocinio 등, 2020; Zhang 등, 2022). 하지만 이 방법들은 시술 과정이 복잡하고 침습적이며 비용이 많이 든다는 단점이 있다. 또한

효과 또한 일시적이거나 미미하며 시술 후 자극 증상이나 색소침착과 같은 부작용이 나타날 수도 있다.

최근에는 많은 피부과에서 피부의 탄력성을 높이는 목적으로 초음파가 사용되고 있다. 초음파는 조직의 분자 사이에서 진동을 일으켜, 분자 사이의 마찰이 열을 발생시키는 원리에 의한 것으로, 통증, 근육경련, 관절 뻣뻣함, 조직 손상을 포함한 근골격계 질환 치료로 많이 사용된다(Knight & Draper, 2012; Lee & Ko, 2016; Robertson & Baker, 2001). 초음파 열 치료의 생리학적 효과에는 조직 온도 상승, 조직 신진대사, 국소 혈류 증가, 콜라겐 섬유 확장성 증가, 조직 내 액체(fluid) 점성의 감소 등이 포함된다(Knight & Draper, 2013). Park 등(2015)은 얼굴 처짐을 가진 사람 20명을 대상으로 얼굴 7개 영역에 초음파 치료를 적용한 결과 치료 전보다 후에 턱선, 볼, 입 주변 부위에서 처짐에 대한 환자 만족도와 의사의 평가 점수가 유의하게 향상됨을 보고하였다. 노화에 따른 혈관 감소가 혈액 흐름 감소, 영양소 교환 감소, 피부 표면 온도 감소로 이어진다는 것을 고려해 볼 때(Baumann, 2007), 초음파를 안면 피부에 적용하면 피부 탄력에 효과적인 방법이 될 수 있을 것이다. 하지만 안면 피부에 초음파를 적용했을 때 피부 탄력 및 피부 깊은 탄력에 미치는 영향에 관한 연구는 부족한 실정이다.

2. 연구의 목적

본 연구의 목적은 건강한 여성을 대상으로 다중 초음파(SONO)를 안면 피부에 적용했을 때 피부 탄력 및 피부 깊은 탄력에 미치는 영향을 알아보고자 함이다. 본 연구의 가설은 다중 초음파(SONO) 적용 전보다 적용 후에 안면 피부의 피부 탄력 및 피부 깊은 탄력을 증가시킬 것이라고 설정하였다.

II. 연구방법

1. 연구 대상자

본 연구는 2022년 8월부터 2022년 10월까지 서울특별시 소재 S 구에 거주하는 여성 중 본 연구의 취지를 이

Table 1. General characteristics of subjects

(n =21)

Characteristic	Women
Age (years)	48.29±7.75
Height (cm)	159.29±4.28
Weight (kg)	54.38±3.76
Body mass index (cm/m ²)	21.45±1.49

M±SD; mean±standard deviation

해하고 참여에 동의한 피부질환을 포함하는 급, 만성 신체질환이 없으며 피부과적, 미용 성형 외과적 처치를 받은 지 최소한 6개월이 지난 건강한 여성 21명을 대상으로 실시하였다(Table 1). 연구의 대상자 수 결정은 G*Power software ver. 3.1 (University of Kiel, Kiel, Germany) 프로그램을 사용하여 산출하였으며 그 결과 표본의 최소 크기는 12명이었다. 실제 연구의 대상자 탈락률을 고려하여 21명을 모집하였다. 제외기준은 다음과 같다: 1) 임신 또는 수유 중인 여성과 임신 가능성이 있는 여성, 2) 피부질환 치료를 위하여 스테로이드가 함유된 피부 외용제를 1개월 이상 사용하는 자, 3) 민감성, 과민성 피부를 가진 자, 4) 시험 부위에 점, 여드름, 홍반, 모세혈관 확장 등의 피부 이상 소견이 있는 자, 5) 연구 시작 전 6개월 이내에 시험 부위에 시술받은 자로 하였다.

2. 연구 절차

본 연구의 참여에 동의하고, 선정 조건과 제외 조건을 충족시킨 21명을 대상으로 시행하였다. 중재 전에 선정된 모든 대상자의 피부 탄력과 깊은 피부 탄력을 평가하였다. 중재 방법은 국내 JLU사에서 연구 개발한 다중 초음파(SONO)를 안면 피부에 적용하는 것이며, 4주 동안 매일 20분씩 총 28회 실시하였다. 중재 2주 후, 4주 후에 피부 탄력과 피부 깊은 탄력을 각각 재평가하였다. 본 연구의 계획서는 한국피부과학연구원 기관생명윤리위원회(승인번호: KIDS-BBH050-JLU)의 승인을 받았으며, 모든 대상자는 서면 동의서를 작성한 후 본 연구에 참여하였다.

3. 평가 방법

1) Ballistometer

중재 전과 후의 피부 탄력 개선 평가를 위해 Ballistometer (Balli-stometer BLS780, Dia-Stron Ltd., UK)를 적용하였으며, 대상자의 왼쪽 볼 부위를 측정하였다. Ballistometer는 probe에 장착된 2 mm 직경의 팔(arm)이 피부 표면에 접촉할 때의 진동 에너지를 수치화하여 피부 탄력을 산정하며, 이에 대한 분석은 Ballistometer 전용 분석프로그램인 MApp를 이용하였다. 피부 탄력을 측정하는 값으로는 회복 계수인 CoR 값(coefficient of restitution)을 사용하였으며, 이는 arm의 리바운드 속도에 대한 충격 속도의 비율을 나타낸다. 처음 3회의 바운스에 대한 CoR의 평균값을 계산하였다.



Fig 1. Multiple SONO ultrasound

2) Dermal torque meter

중재 전과 후의 피부 깊은 탄력 개선 평가를 위해 Dermal torque meter (Dermal torque meter DTM310, Dia-Stron Ltd., UK)(Murray & Wickett, 1997)를 적용하였으며(Fig 1), 모든 대상자의 왼쪽 볼 부위에 도자를 접촉 테이프고정한 후 일정한 각도와 압력으로 10초 동안 회전력을 가하여 피부 탄력을 측정하였다. Dermal torque meter는 초음파 도자에 내장된 토크모터에 의해 적용된 전단력 반응을 통해 피부의 각도 변위를 측정하며, 토크

모터는 수평 직경 20 mm인 토크 디스크에 연결되어 회전력을 직접 피부에 전달한다. 또한 회전력을 적용하는 피부의 면적을 제한하기 위하여 초음파 도자 헤드에 1, 3, 5 mm의 링 갭을 갖는 분리형 가드링을 장착하며, 링 갭이 클수록 깊은 층에 회전력을 전달한다. 본 연구에서는 피부 깊은 탄력 개선을 측정하기 위하여 진피층에 회전력을 전달하는 3 mm의 링 갭을 갖는 가드링을 부착하였으며, 피부 탄력을 나타내는 Ur/Ue 값을 분석에 사용하였다. Ur/Ue 값은 회전으로 인한 변형에 대한 피부의 회복력을 나타내며, 최댓값은 1.0이다. 이에 대한 분석은 전용 분석프로그램인 MApp를 이용하였으며, 시험제품 사용 전과 비교하여 측정값이 증가할수록 동시 사용 시 피부 깊은 탄력이 개선되었음을 의미한다. 303명의 여성을 대상으로 Ur/Ue 평균값을 조사한 이전 연구 결과, 20대, 30대, 40대 각각 .71±.01, .68±.01, .64±.01이며, 나이가 증가할수록 Ur/Ue 값이 유의하게 낮아짐을 확인하였다 (Maeng & Nam, 2022).

4. 중재 방법

대상자는 클렌징 후 무색투명한 초음파 젤(Joeunsonic, JLU Ltd., Korea)을 안면 부위에 고르게 도포 한 뒤 국내 JLU사에서 연구 개발한 다중 초음파(SONO) 기기(Multiple SONO ultrasound, JLU Ltd., Korea)를 ANTI-AGING 기능 Power step 5단계(1, 3, 10, 17 MHz)로 설정 후 초음파 도자를 안면 피부에 바로 접촉하여 근육 결 따라 마사지하듯 얼굴과 턱선(눈 주위 피부는 제외)에 좌우로 각각 10분씩 20분간 매일 4주 동안 적용하였다. 속도는 분당 30번의 속도로 수행되었으며, 일정한 강도를 위해 대상자가 느끼는 시각적 상사척도 3 수준을 유지하도록 하였다(Kim & Kang, 2020).

5. 분석 방법

연구의 모든 자료 분석은 SPSS version 18.0 프로그램 (SPSS Inc., Chicag IL, USA)을 사용하였으며 측정된 결과값을 평균과 표준편차로 산출하였다. Kolmogorov-Smirnov 검증법을 이용하여 정규성 검증 후, 다중 초음파(SONO) 적용 전, 2주, 4주 후 피부 탄력 및 깊은 피부 탄력 변화를 알아보려고 일원 배치 반복측정 분산분석(one-way repeated ANOVA)을 실시하였다. 통계학적 유의성을 검증하기 위해서 유의 수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였으며, 사후검정은 본페로니(Bonferroni)를 실시하였다.

III. 결과

초음파 중재 시기별(중재 전, 2주 후, 4주 후) 피부 탄력을 비교했을 때 시기별로 통계학적인 유의한 차이가 있었다($p < .01$). 초음파 중재 전과 중재 2주 후($p < .05$), 중재 4주 후($p < .01$)를 각각 비교했을 때 피부 탄력이 통계학적으로 유의하게 증가하였다. 초음파 중재 2주 후와 중재 4주를 비교했을 때는 피부 탄력이 통계학적 유의한 차이가 확인되지 않았다($p = 1$).

초음파 중재 시기별(중재 전, 2주 후, 4주 후) 피부 깊은 탄력을 비교했을 때 시기별로 통계학적인 유의한 차이가 있었다($p < .01$). 초음파 중재 전과 중재 2주 후($p < .05$), 중재 4주 후($p < .05$)를 각각 비교했을 때 피부 깊은 탄력이 통계학적으로 유의하게 증가하였다. 초음파 중재 2주 후와 중재 4주 후를 비교했을 때도 통계적으로 유의하게 증가하였다($p < .05$)(Table 2).

Table 2. Changes of skin elasticity and elasticity of deeper skin according to times

Skin elasticity	0 weeks	2 weeks	4 weeks	F	p
CoR-value (%)	.59±.03	.60±.04*	.60±.04*	7.71	.001
UrUe-value (%)	.36±.04	.38±.03*	.38±.04***	5.48	.008

*Statistical significant difference between 0 weeks and 2 weeks (or 4 weeks) for CoR-value, UrUe-value at $p < .05$, **Statistical significant difference between 2 weeks and 4 weeks for CoR-value, UrUe-value at $p < .05$

IV. 고 찰

본 연구는 건강한 여성을 대상으로 다중 초음파(SONO)를 안면 피부에 적용했을 때 피부 탄력 및 피부 깊은 탄력에 어떠한 영향을 미치는지 알아보았다. 초음파 중재 시기별로 피부 탄력과 피부 깊은 탄력을 비교한 결과 중재 전보다 중재 2주 후, 4주 후에 피부 탄력과 피부 깊은 탄력 모두 유의하게 향상되었다. 초음파 중재 2주 후와 4주 후를 비교했을 때는 피부 탄력의 경우 유의한 차이가 없었으나 피부 깊은 탄력은 유의하게 증가하였다.

다중 초음파(SONO) 적용 전보다 2주 후, 4주 후에 피부 탄력과 피부 깊은 탄력이 유의하게 증가하였다. 그 이유는 아마도 초음파가 안면 피부의 표피층에 수분을 공급(hydration)시키고 진피층의 콜라겐을 합성시켜 피부 탄력 및 피부 깊은 탄력을 증가시킨 것으로 생각하며, 이는 이전 연구들의 결과와 일치한다. Kim 등(2021)의 연구는 초음파가 피부에 수분을 공급시키는 데 효과적이고 안전한 방법이라고 증명하였으며, 그 이유는 초음파가 표피에 에너지를 전달하면 각질 세포 사이의 공간이 커지고 음향 기계적 스트레스(acoustic mechanical stress)에 의해 미세 공동이 생성되어 표피의 투과성이 증가하기 때문으로 설명하였다. 피부에 충분한 수분을 공급하였을 때 표피층이 그 영향을 가장 많이 받는다고 보고되며, 이는 피부 탄력의 증가로 이어진다(Chang, 2018). 따라서 본 연구에서 4주 동안 안면 피부에 적용한 초음파가 표피층 투과성을 증가시켜 표피층의 수분공급이 향상되었을 것이며 이는 피부 탄력의 증가로 이어졌을 것으로 생각된다. Shu 등(2011)은 28명의 대상자의 얼굴에 초음파를 적용한 3개월 동안 4주 간격으로 추적조사한 결과 피부 느슨함이 각각 32%, 57% 그리고 11% 개선되었다고 보고하였으며, 진피층에서 콜라겐 섬유가 관찰되었다고 설명하였다. 또 다른 연구들에 따르면 자외선에 노출된 쥐에 콜라겐을 투여했을 때 총 탄력, 순 탄력, 점 탄력 비율 및 생물학적 탄력과 같은 피부 탄력 지표가 개선되었다고 보고하였으며, 그 이유는 진피 내 콜라겐과 엘라스틴이 증가하여 세포외기질이 구조적으로 개선되었기 때문이라고 설명하였다(Kim 등, 2011;

Lee 등, 2021). 초음파를 피부에 적용하게 되면 음파가 조직 내 분자를 진동시켜 진피 결합 조직에 열에너지를 생산하게 한다(Chilukuri 등, 2017; Fabi, 2015). 생성된 열 에너지는 변성된 콜라겐을 즉각적으로 수축시키고, 신생 콜라겐을 생성 및 리모델링하여 피부 탄력을 증가 시킨다(Fatemi, 2009; Kwan 등, 2020). 초음파 치료 후 조직에 침착된 콜라겐이 더 강하고 잘 조직된다고 보고되며, 그 결과 초음파로 치료된 조직이 더 빨리 치유단계를 거치는 것은 놀라운 일이 아니다. 이전 연구 결과를 종합해 보았을 때, 안면 피부에 적용된 초음파가 표피층의 투과성을 증가시켜 수분을 충분히 공급시켰을 것이며, 진피층에 존재하는 변성된 콜라겐을 수축시키고 신생 콜라겐을 생성 및 리모델링하였을 것이다. 이는 피부에 강도와 장력을 부여하였을 것이며 그 결과 피부 탄력 및 피부 깊은 탄력 증가로 이어졌을 것으로 사료된다.

다중 초음파(SONO) 중재 2주 후와 4주 후를 비교했을 때 피부 탄력의 경우 유의한 차이가 없었다. 그 이유는 2주 동안의 초음파 중재 효과가 4주까지 유지되지 않았을 것이며, 중재 2주 이후에 지속적으로 초음파를 적용했기 때문에 4주 후에도 피부 탄력이 유지되었을 것으로 생각된다. Kim 등(2021)은 초음파를 안면 피부에 주 1회, 4주간 적용하는 동안, 2주마다 표피층의 수분 손실량을 측정하였다. 그 결과 4주째에 표피층의 수분 손실량이 유의하게 감소하는 것을 관찰하였으며, 6주째에 추적관찰(follow up)을 했을 때 그 효과가 유지되었다고 보고하였다. 본 연구에서 초음파 중재 2주 후와 4주 후의 피부 탄력이 유의한 차이가 없었던 이유는 2주 동안 초음파 중재를 통해 향상된 피부의 수화(hydration)가 4주까지 유지되지 않았을 것이며, 나머지 2주 동안 지속해서 초음파를 적용했기 때문에 피부의 수화가 유지되어 피부 탄력이 지속해서 유지되었을 것으로 생각된다. 본 연구와 이전 연구를 종합해 보았을 때 초음파를 안면 피부에 최소 4주 이상 꾸준히 적용했을 때 안면 피부의 수분공급 효과가 지속되어 피부 탄력이 유지될 수 있을 것으로 생각한다.

다중 초음파(SONO) 중재 2주 후보다 4주 후에 피부 깊은 탄력이 유의하게 증가하였다. 그 이유는 초음파가 콜라겐 생성 및 리모델링하는데 오랜 기간 걸리기 때문으로 생각되며 이는 이전 연구 결과와 일치한다. Yeung

등(2006)의 연구에 따르면 부상당한 아킬레스건에 초음파를 적용했을 때 부상 부위의 콜라겐 합성이 증가하였고, 콜라겐 섬유 다발의 정렬이 개선되었으며, 이러한 효과는 특히 4주 치료 후에 뚜렷하다고 보고하였다. Suh 등(2011)의 연구에서는 안면 피부에 초음파를 적용하기 전과 적용 2개월 후에 피부조직 검사를 한 결과, 진피층에서 콜라겐의 증가와 탄력 섬유 재배열이 관찰되었다고 하였다. 이러한 변화는 초음파에 의해 발생하는 열이 콜라겐 재생을 유발한 것이라고 설명하였다. 본 연구는 안면 피부에 초음파를 4주 동안 적용하였기 때문에 2개월 적용한 Shu 등(2011)의 연구와 직접적인 비교는 어려울 수 있지만 초음파가 콜라겐을 생성하고 리모델링하는데 오랜 시간이 걸린다는 것은 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 4주 동안 초음파를 적용했을 때, 진피층에서 콜라겐 합성 및 정렬이 되는 시간이 걸리는 것을 감안한다면 2주 후보다 4주 후에 피부 깊은 탄력이 더 많이 증가했을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 몇 가지 제한점이 있다. 첫째로, 초음파가 안면 피부에 수분을 공급하여 피부 탄력을 증가시켰고, 더 나아가 콜라겐 생성 및 리모델링에 영향을 주어 피부 깊은 탄력을 개선했을 것이라고 주장하였음에도 불구하고, 본 연구에서는 피부 수분과 진피의 콜라겐 생성 및 리모델링에 대한 객관적인 데이터가 없다. 두 번째는 건강한 여성을 대상으로만 했기 때문에 모든 대상자에게 일반화할 수 없다는 점이다. 마지막으로 본 연구는 대조군이 없었기 때문에 연구 결과가 초음파의 효과라고 단정 지을 수 없었다. 향후에는 대조군을 포함한 다양한 대상자를 대상으로 피부 수분 정도와 진피의 콜라겐을 객관적으로 관찰하는 연구가 필요할 것으로 보인다.

V. 결 론

본 연구는 건강한 여성을 대상으로 다중 초음파(SONO)를 안면 피부에 적용했을 때 피부 탄력 및 피부 깊은 탄력에 미치는 효과를 초음파 중재 시기별로 비교 분석하였다. 그 결과, 초음파 중재 전보다 중재 2주 후,

4주 후에 피부 탄력과 피부 깊은 탄력 모두 유의하게 향상되었다. 초음파 중재 2주 후와 4주 후를 비교했을 때는 피부 탄력의 경우 유의한 차이가 없었으나 피부 깊은 탄력은 유의하게 증가하였다. 결론적으로 건강한 여성의 안면 피부에 4주 동안 초음파의 적용은 표피의 수분공급 효과와 진피의 콜라겐 생성 및 리모델링 효과에 의해서 피부 탄력 및 피부 깊은 탄력을 향상시킨다는 것을 확인하였다.

참고문헌

Baumann L(2007). Skin ageing and its treatment. *J Pathol*, 211(2), 241-251. <https://doi.org/10.1002/path.2098>.

Brandt FS, Cazzaniga A(2008). Hyaluronic acid gel fillers in the management of facial aging. *Clin Interv Aging*, 3(1), 153. <https://doi.org/10.2147/cia.s2135>.

Butler PE, Gonzalez S, Randolph MA, et al(2001). Quantitative and qualitative effects of chemical peeling on photo-aged skin: an experimental study. *Plast Reconstr Surg*, 107(1), 222-228. <https://doi.org/10.1097/00006534-200101000-00036>.

Chang M(2018). Study on skin elasticity property between face and forearm according to the environmental change of stratum corneum. *J Soc Cosmetic Sci Korea*, 44(4), 455-463. <https://doi.org/10.15230/SCSK.2018.44.4.455>.

Chilukuri S, Denjean D, Fouque L(2017). Treating multiple body parts for skin laxity and fat deposits using a novel focused radiofrequency device with an ultrasound component: safety and efficacy study. *J Cosmet Dermatol*, 16(4), 476-479. <https://doi.org/10.1111/jocd.12448>.

Fabi SG(2015). Noninvasive skin tightening: focus on new ultrasound techniques. *Clin Cosmet Investig Dermatol*, 8, 47-52. <https://doi.org/10.2147/CCID.S69118>.

Fatemi A(2009). High-intensity focused ultrasound effectively reduces adipose tissue. *Semin Cutan Med Surg*, 28(4), 257-62. <https://doi.org/10.1016/j.sder.2009>.

- 11.005.
- Haydont V, Bernard BA, Fortunel NO(2019). Age-related evolutions of the dermis: clinical signs, fibroblast and extracellular matrix dynamics. *Mech Ageing Dev*, 177, 150-156. <https://doi.org/10.1016/j.mad.2018.03.006>.
- Hexsel C, Hexsel D, Porto MD, et al(2011). Botulinum toxin type A for aging face and aesthetic uses. *Dermatol Ther*, 24(1), 54-61. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8019.2010.01378.x>.
- Kim CY, Kang JH(2020). The effect of STM using instrument or manual therapy on muscle activity. *J Converg Inf Technol*, 10(9), 200-205. <https://doi.org/10.22156/CS4SMB.2020.10.09.200>.
- Kim JK, Lee JH, Bae IH, et al(2011). Beneficial effect of a collagen peptide supplement on the epidermal skin barrier. *Korean J Food Sci Technol*, 43(4), 458-463. <https://doi.org/10.9721/KJFST.2011.43.4.458>.
- Kim YJ, Moon IJ, Lee HW, et al(2021). The efficacy and safety of dual-frequency ultrasound for improving skin hydration and erythema in patients with rosacea and rone. *J Clin Med*, 10(4), 834. <https://doi.org/10.3390/jcm10040834>.
- Knight KL, Draper DO(2012). *Therapeutic ultrasound. therapeutic modalities: the art and science*. 2nd ed, Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, pp.252-282.
- Kwan KR, Kolansky Z, Abittan BJ, et al(2020). Skin tightening. *Cutis*, 106(3), 134-137. <https://doi.org/10.12788/cutis.0073>.
- Lee EK, Kim SH, Park KM, et al(2017). Inhibitory effect of artemisiae annuae herba extracts on melanin synthesis, tyrosinase activities and production levels of tyrosinase, MMP-1 and MMP-9 in SK-MEL-2 Cells. *Korean J Obstet Gynecol*, 30(2), 37-48. <https://doi.org/10.15204/jkobgy.2017.30.2.037>.
- Lee JH, Chae M, Choi JK, et al(2021). Photo-protective effect of AP collagen peptides on UV-induced skin aging. 50, 119-127. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2021.50.2.119>.
- Lee JH, Park J, Shin DW(2022). The molecular mechanism of polyphenols with anti-aging activity in aged human dermal fibroblasts. *Molecules*, 27(14), 4351. <https://doi.org/10.3390/molecules27144351>.
- Lee SH(2005). The effect of manual therapy on the change in skin elasticity. Graduate school of Kwangju Women's University, Republic of Korea, Master's thesis.
- Lee WC, Ko YS(2016). A study on the development of high-intensity focused ultrasound device for the beauty treatment health care. *J Korea Institute Electronic*, 11(12), 1259-1261. <https://doi.org/10.13067/JKIECS.2016.11.12.1259>.
- Maeng J, Nam G(2022). Development and application of skin age prediction model based on skin measurement data according to age of 20's to 40's ages of korean women. *J Soc Cosmet Sci Korea*, 48(1), 25-32. <https://doi.org/10.15230/SCSK.2022.48.1.25>.
- Murray BC, Wickett RR(1997). Correlations between dermal torque meter[®], cutometer[®], and dermal phase meter[®] measurements of human skin. *Skin Res Technol*, 3(2), 101-106. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0846.1997.tb00170.x>.
- Park H, Kim E, Kim J, et al(2015). High-intensity focused ultrasound for the treatment of wrinkles and skin laxity in seven different facial areas. *Annals Dermatol*, 27(6), 688-693. <https://doi.org/10.5021/ad.2015.27.6.688>.
- Park S(2022). Biochemical, structural and physical changes in aging human skin, and their relationship. *Biogerontology*, 23(3), 275-288. <https://doi.org/10.1007/s10522-022-09959-w>.
- Patrocinio LG, Naves MM, Patrocinio JA(2020). The facelift in south american patients. *Facial Plast Surg*, 36(4), 416-429. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1713848>.
- Robertson VJ, Baker KG(2001). A review of therapeutic ultrasound: effectiveness studies. *Phys Ther*, 81(7), 1339-1350. <https://doi.org/10.1093/ptj/81.7.1339>.
- Shin JW, Kwon SH, Choi JY, et al(2019). Molecular mechanisms of dermal aging and antiaging approaches. *Int J Mol Sci*, 20(9), 2126. <https://doi.org/10.3390/ijms20092126>.
- Subhan F, Ikram M, Shehzad A, et al(2015). Marine

- collagen: an emerging player in biomedical applications. *J Food Sci Technol*, 52(8), 4703-4707. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1652-8>.
- Suh DH, Shin MK, Lee SJ, et al(2011). Intense focused ultrasound tightening in Asian skin: clinical and pathologic results. *Dermatol Surg*, 37(11), 1595-1602. <https://doi.org/10.1111/j.1524-4725.2011.02094.x>.
- Varani J, Warner RL, Gharraee-Kermani M, et al(2000). Vitamin a antagonizes decreased cell growth and elevated collagen-degrading matrix metalloproteinases and stimulates collagen accumulation in naturally aged human skin. *J Invest Dermatol*, 114(3), 480-486. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1747.2000.00902.x>.
- Wittig-Silva C, Chan E, Islam FM, et al(2014). A randomized, controlled trial of corneal collagen cross-linking in progressive keratoconus: three-year results. *Ophthalmology*, 121(4), 812-821. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2013.10.028>.
- Yeung CK, Guo X, Ng YF(2006). Pulsed ultrasound treatment accelerates the repair of Achilles tendon rupture in rats. *J Orthop Res*, 24(2), 193-201. <https://doi.org/10.1002/jor.20020>.
- Zhang H, Wang Y, Wang JJ, et al(2022). Achieving superior mechanical properties of selective laser melted AlSi10Mg via direct aging treatment. *J Mater Sci Technol*, 108, 226-235. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2021.07.059>.