

이침 시술에 따른 자율신경계 변화와 혈관 상태의 개선에 대한 연구: 광용적 맥파(PPG) 분석

나 범 기[°], 안 준 모^{*}, 방 승 환^{*}, 유 준 상^{**}, 이 현 숙^{*}

Change of Autonomic Nervous System and improvement of Vascular Condition with the Stimulus of Auricular Acupuncture: Photoplethysmogram(PPG) Analysis

Beom-ki Na[°], Jun-mo Ahn^{*}, Seung-hwan Bang^{*}, Jun-sang Yu^{**}, Hyun-sook Lee^{*}

요 약

인체의 항상성 유지에 자율신경계의 균형은 매우 중요하다고 알려져 있으므로 본 연구에서는 이침 시술이 자율신경계에 미치는 영향에 대해 조사하였다. 건강한 성인 남녀 12명을 대상으로 실험을 진행하였으며 심혈, 신문혈, 내분비혈에 이침 시술하여 시술 전과 후를 비교함으로써 심박 변이도와 피부 전도도의 변화를 통해 자율신경계 변화와의 상관관계와 혈관 지표 변화와의 관계도 연구하였다. 이침 시술 5분 후 자율신경계 내 교감-부교감신경의 균형 상태를 평가할 수 있는 LF/HF 비가 0.55로 감소되어 부교감신경이 활성화되었음을 알 수 있었다. 긴장의 이완도를 알 수 있는 피부 전도도 또한 이침 시술 5분 후 감소되는 것을 관측하였다. 이는 자율신경계의 결과와 일치하는 것으로 보인다. 이침 시술 후 혈관 지표 변화 또한 시간이 경과함에 따라 개선되는 것으로 보아 심혈과 내분비혈, 신문혈에 이침 시술은 자율신경계의 균형을 조절하고 이에 따라 혈관 지표에도 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Key Words : communication, signal processing, Neutral systems, Communication Sciences, Network

ABSTRACT

Since the balance of the autonomic nervous system(ANS) is very important for maintaining the homeostasis of the human body, this study investigated the effect of auricular acupuncture(AA) on the ANS. The experiment was conducted on 12 healthy subjects, and the change of heart rate variability(HRV) and skin conductance before and after AA treatment on the Shemen(TF4), Xin(CO15), and Netenmi(CO18) acupoints were measured, and the correlation between changes in the ANS and blood vessel indicators was studied. The LF/HF ratio for evaluating the balance of the sympathetic-parasympathetic nerve in the ANS was reduced to 0.55 in 5 min. after AA treatment, therefore, it is thought that the activation of parasympathetic nerve increased compared to sympathetic nerve. The skin conductivity, which indicates the degree of relaxation of tension, also decreased after AA treatment. This seems to support the results of the ANS analysis. The change in vascular indices also improved after AA treatment. Therefore it is believed that AA treatment on TF4, CO15, CO18 acupoints regulates the balance of ASN and, accordingly, affects blood vessel indicators.

[°] First and Corresponding Author : Sangji University Dept of Oriental bio medical engineering, bkin1114@naver.com, 정희원

^{*} Sangji University Dept of Oriental bio medical engineering, dkswnsah159@naver.com; sshbang0327@gmail.com; hslee@sangji.ac.kr

^{**} Korean hospital of Sangji university, hiruok@sangji.ac.kr, 정교수

논문번호 : 202107-169-C-RN, Received July 17, 2021; Revised August 10, 2021; Accepted August 12, 2021

1. 서 론

자율신경계의 이상은 인체에 여러 가지 악영향을 끼치며 나아가 여러 질병의 증상이자 원인이 되기도 한다. 교감신경과 부교감신경의 생리적인 불균형은 피로, 불안, 초조, 불면 등의 증상을 초래한다고 알려져 있다. 심박 변이도(HRV)는 심박 주기(R-R interval)의 시간적인 변동을 측정하여 정량화한 것으로 자율신경계의 균형과 불균형을 나타내는 척도이다. 자율신경계는 스스로 제어할 수 없는 불수의적이며 인체의 각 장기들의 기능을 자동적으로 유지 및 조절해주어 환경변화나 외부 자극에 대해 인체의 각 기능들의 균형을 유지하여 항상성을 유지 시켜주는 역할을 한다.^[1,2]

하지만 부작용 및 잠재된 위험성이 내재된 약물치료 이외에 뚜렷한 자율신경계의 조절방법에 대한 보고가 활발하게 이루어지지 않고 있다. 그럼에도 불구하고 상대적으로 부작용의 위험성이 적은 한의학의 뜸이나 부항, 침술등을 활용한 자율신경계 조절방법에 대한 보고들이 있다. 부항 요법은 특정 자율신경절이 위치한 척수신경이 관여하는 피부절을 자극해주어 그 자율신경이 조절에 관여하는 조직과 장부에 영향을 줄 수 있다.^[3] 또한 뜸치료를 파킨슨병 환자에게 8주간 시행한 결과 심박 수가 감소하고 부교감신경계를 자극해 자율신경계 기능이 고조된다는 보고가 있다.^[4] 그리고 경혈에 대한 침술 요법이 자율신경계에 미치는 영향에 대한 연구도 많이 보고되고 있다.

Mori 등은 40명의 피실험자에게 자침의 시술 전후를 비교하여 시술 후 심박 수가 낮아진 결과를 얻어냄으로 부교감신경이 항진되었음을 보고하였다.^[5] 다른 보고로 Haker 등은 정상인 피실험자 12명에 대해 자침의 시술 전후 HRV를 측정하고 분석하여 부교감신경이 높아졌다고 보고하였다.^[6] 이러한 침술 요법이 HRV의 변화에 유의한 영향을 미친다는 보고를 토대로 귀의 경혈점에 시술하는 이침 요법 또한 HRV의 변화에 유의한 결과를 가져올 것이라는 예측을 세우고 본 연구를 진행하였다.

이침 요법은 1950년 프랑스의 의사 Paul Nogier가 귀에 화상을 입어 좌골 신경통이 치료되었다는 환자를 접하고 연구하여 이를 1956년 Marseile에서 개최된 국제 침구의학회에 보고함으로써 알려지게 되었다.^[7]

이침 요법의 장점으로는 몸 전체에 흐르는 십이경맥이 직·간접적으로 뇌와 상대적으로 가까운 부위인 이개부를 관통하기에 반응속도가 빠르고 효과도 좋은

것으로 보고되고 있다. 치료 효과의 범위는 어지럼증과 혈압뿐만 아니라 우울증, 심장병 등 각부의 통증까지도 다스릴 수 있을 정도로 치료 효과가 광범위하다. 무엇보다도 이개부는 해부 생리학적으로 급소가 없기에 안전한 것으로 알려져 있다.^[8]

귀에도 HRV에 영향을 줄 수 있는 혈자리들이 있는데, 그중 심혈(CO15)은 심질환, 신경쇠약 등에 효능이 있어 심장질환이나 스트레스 질환 등에 쓰이는 대표적인 혈자리라고 보고되었다.^[9,10] 또한 내분비혈(CO18)은 호르몬을 관장하는 내분비계에 이상이 있을 시 나타나는 자율신경계의 불균형 증상을 완화하는데 도움을 준다고 한다.^[10,11] 그리고 홍 등 2명은 불면증 환자의 교감신경계 활성도가 부교감신경계 활성도보다 더 높은 경향이 있다고 보고하였다. 그러므로 불면에 효과가 있다고 알려져 있는 귀의 신문혈(TF4) 자극 또한 교감신경을 억제하고 부교감신경을 활성화시킬 것이라 가정하고 이 연구를 진행하였다.^[10,12]

따라서 자율신경계 변화를 알 수 있는 HRV를 측정하기 위해 본 연구에서는 신문혈, 심혈, 내분비혈에 이침 요법을 실시하였으며 피부 전도도(Galvanic Skin Response:GSR)와 가속도맥파(Accelerated Photoplethysmogram:APG)를 함께 분석하였다.

GSR은 일정한 전압을 가진 전류를 흘려 전기적인 전도 반응을 두 개의 센서로 측정하는 것이다. 외부의 자극 등으로 인해 긴장을 하게 되면 임피던스가 감소하기 때문에 받아들이는 전기적 신호는 커진다.^[13,14] 그러므로 GSR은 교감신경의 항진 여부에 영향을 받으므로 교감신경의 변화를 측정할 수 있을 것이다.^[15]

광용적맥파(Photoplethysmogram:PPG)는 혈관 용적 변화에 따른 적외선의 반사와 흡수 변화를 감지하여 자율신경계의 변화에 따라 달라지는 말초혈류의 양을 측정할 수 있다.^[16] APG는 측정된 맥파의 2차 미분 신호로서 맥파의 미세한 변화를 나타내는데 말초 혈액순환을 평가하는 최적의 지표인 혈관의 탄성도, 박출강도, 미분 맥파 지수, 그리고 잔혈량에 대한 정보를 제공한다. 혈관 탄성도(Blood vessel tension)는 혈관의 탄성 정도를 나타내며 정상군에서는 양의 값을 가지는데 반해, 동맥경화가 진행이 되면 음의 값으로 이동한다. 박출강도(Stress power)는 혈관의 확장성을, 그리고 미분 맥파 지수(Differential pulse wave index)는 혈관의 노화 정도를 나타내주는 것으로 절대값이 클수록 혈관의 상태가 양호한 것으로 알려져 있다. 또한 잔혈량(Remained blood volume)은 혈관 상태가 좋을수록 절대값이 작게 나타나며 동맥경

화가 있을 경우엔 반대로 절대값이 증가한다.^[17-20]

그러므로 본 연구에서는 이침 요법을 이용하여 피 실험자들의 심혈, 신문혈, 내분비혈에 시술한 후 시술 받기 전과 후를 비교함으로써 HRV와 GSR의 변화를 통해 자율신경계의 변화와의 상관관계를 연구하고 APG를 분석하여 심장과 혈관 상태의 변화를 관측하고자 한다.

II. 연구방법

본 연구의 목적을 이해하고 자발적으로 연구를 희망한 대상자 중에서 이침 시술에 대한 거부감이 없으며 고혈압, 당뇨, 부정맥 등 심혈관계 질환이 없고 최근 2주 내에 약을 복용하지 않은 피험자를 모집한 후 실험에 들어가기 전 실험의 내용과 절차를 설명하고 서면동의서를 받았다. 실험은 성인 남녀 12명(남자 8명, 여자 4명, 나이: 22±2)을 대상으로 진행하였다. 피 실험자 간 실험시간에 대한 오차를 가급적 줄이기 위해 모두 같은 시간대인 오전 10시부터 12시 사이에 실험을 진행하였고 실험 전 두 시간 동안 음식과 금연을 하도록 지시하였다. 실험에 영향을 줄 수 있는 장신구나 금속 제품, 모자와 마스크 등을 착용하지 않도록 하였으며 편안한 복장을 착용하였고 실험실은 외부 소음이 없는 실내에서 진행하였다.

실험 시작 10분 전부터 실험실 환경에 적응할 수 있도록 휴식을 취한 후 편안한 자세로 왼손 검지 끝에 PPG 센서를 부착하고, 오른손 검지와 중지에는 GSR 센서를 부착한 후 MP35(Biopac systems Inc. USA)

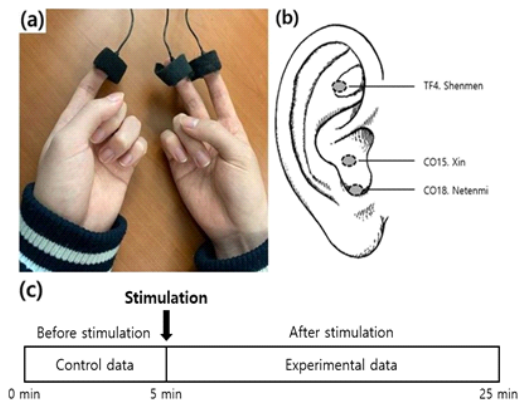


그림 1. (a) 센서 부착 위치: 왼손은 광용적맥파 센서, 오른손은 피부전도도 센서, (b)이침 시술 혈자리(심혈, 내분비혈, 신문혈), (c)실험 순서와 흐름도
Fig. 1. (a)A PPG sensor is attached to the left hand, and GSR sensors are attached to the right hand, (b)Stimulating acupoints(CO15, CO18, TF4) (c)Timeline of the experiment.

에 연결하여 PPG와 GSR을 동시에 측정하였다.(그림 1(a)) PPG 신호 측정을 위해 0.5Hz의 고주파 대역 필터와, 50Hz의 저주파 대역 필터를 사용하였다. 또한 표본추출률(Sampling rate)은 100Hz으로 설정하였다. 귀 혈자리인 신문혈, 심혈, 내분비혈에 0.2 mm 직경의 15 mm 길이를 가진 침을 5 mm 깊이로 20분간 시술하였다.(그림 1(b)) 실험에서 대조군으로 침 시술 전 5분 동안 안정상태를 측정하였으며, 실험군으로 돌발적인 상황이나 피실험자의 움직임 등을 고려하여 이침 시술 후 20분간 측정하였다.(그림 1(c))

측정된 PPG 신호는 Biopac Acqknowledge 4.2를 사용하여 분석하였다. 그림 2(a)의 맥파를 2차 미분하여 그림 2(b)와 같은 가속도 맥파를 구한 후 혈관 탄성도(c/a), 박출강도(b/a), 미분 맥파 지수 $([-b+c+d]/a)$, 잔혈량(-d/a)을 각각 계산하여 심장과 혈관 상태의 변화를 확인하였다. 또한 PPG 신호로부터 HRV를 구한 후 주파수 영역 분석을 통해 교감신경의 활성화를 나타내는 저주파(Low frequency:LF, 0.05~0.15Hz)영역과 부교감신경의 활성화에 대응하는 고주파(High frequency:HF, 0.15~0.35Hz) 영역을 분석하여 이침 시술 시간에 따른 자율신경계의 변화를 조사하였다.(그림 2(c)) 그리고 GSR은 시술 전과 시술 5분 후의 평균을 비교하였다.

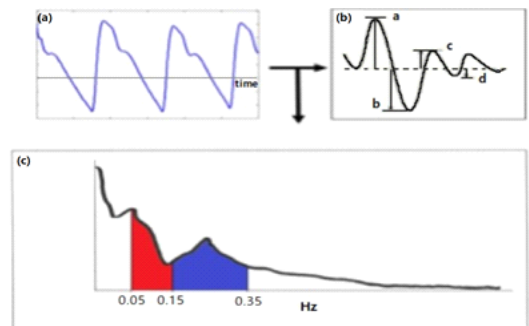


그림 2. (a)측정된 맥파 파형, (b) 가속도 맥파, (c) 심박 변이도의 주파수영역 분석(저주파영역(빨간색), 고주파영역(파란색)).
Fig. 2. (a)Raw PPG wave, (b)Accelerated PPG, (c)Frequency analysis from HRV(LF: red color, HF: blue color).

III. 결 과

3.1 자율신경계 분석

본 연구에서는 PPG 신호로부터 얻은 HRV를 주파수 영역 분석을 통해 저주파 전력과 고주파 전력을 구하여 이침 시술이 자율신경계 균형에 미치는 영향에

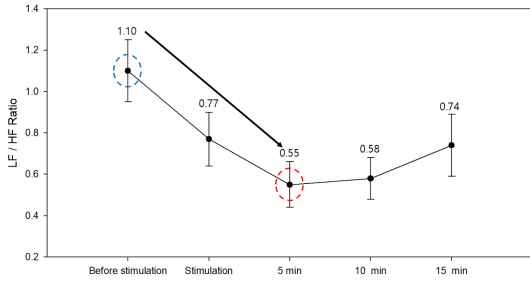


그림 3. 시간 변화에 따른 LF/HF ratio 값의 변화.
Fig. 3. Change of LF/HF ratio value with time change

대해 조사하였다. 이침 시술을 하기 전인 대조군과 시술 후 실험군을 비교하면 LF 영역에서는 시술 후 시간에 따른 변화가 크게 일어나지 않았지만, HF 영역은 시술 후 대조군에 비해 증가하는데

시술 5분 후 가장 큰 향진을 보였다. 그림 3은 이침 시술 전후의 시간에 따른 교감신경과 부교감신경의 향진 비율을 나타낸 것이다.

3.2 피부전도도(GSR) 분석

GSR은 시술 전에 비해 시술 5분 후 약 19% 감소한 것으로 나타나는데, 이침 시술 후 부교감신경이 활성화되어 인체가 이완 상태가 되어 안정화되는 것으로 해석할 수 있다. 따라서 이 결과는 자율신경계 비율로 나타낸 그림 3의 결과와 일치하는 것으로 보인다. 긴장이 완화되면 땀의 분비가 적어지고 이에 따라 피부 임피던스가 증가하여 GSR은 감소된다. 따라서 이침 시술로 심혈, 신문혈, 내분비혈을 자극한 후 5분이 경과하면 심신이 이완되는 것으로 보인다. (그림 4)

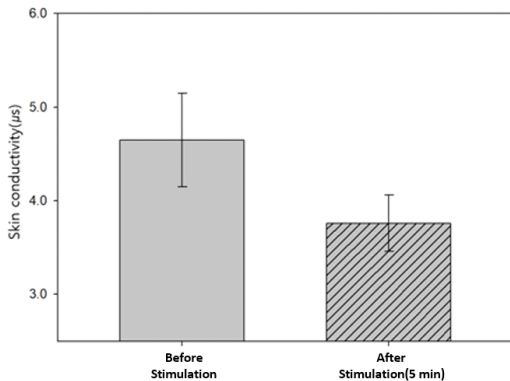


그림 4. 시술 전과 시술 5분 후의 피부전도도
Fig. 4. Galvanic skin response before and after auricular acupuncture (p>0.057)

3.3 가속도 맥파 분석

이침 시술 전후 측정된 광용적 맥파를 이차 미분하여 얻은 APG로부터 혈관 탄성도, 박출강도, 미분 맥파 지수, 잔혈량등의 혈관지표를 분석하였다. 이침 시술 전 데이터를 기준으로 시간에 따른 각 지표의 변화 비율을 피실험자들에 대한 평균값으로 그림 5에 나타내었다.

모든 혈관 지표가 이침 시술시 급격히 감소하지만 이침 시술 후 시간이 경과함에 따라 증가하는 경향을 볼 수 있다. 특히 잔혈량은 시술 후 바로 대조군인 시술 전보다 증가하는 것을 알 수 있었다. 다른 지표들도 시간이 더 경과됨에 따라 대조군보다 증가할 것으로 예측된다.

하지만 20분 정도의 짧은 이침 자극으로는 혈관 상태가 급격히 호전되는 현상을 기대하기가 어려울 것으로 예상되어 본 연구에서는 신체질량지수(Body mass index:BMI)가 높을수록 혈관 탄성도가 감소하고,^[21] 사상체질별 직군 중 태음인이 동맥경화의 원인인 LDL-colesterol과 중성지방인 Triglyceride가 소음인과 소양인에 비해 높게 나타난다는 보고에^[22] 따라, 전체 피실험자를 BMI 및 사상체질별 직군으로 나누어 APG 분석을 하였다.

본 연구에서 12명의 피실험자 중 태양인은 없었으며, 태음인은 9명, 소음인 1명, 소양인은 2명인데, 그 중 통계적으로 유의미한 태음인의 결과를 그림 6에 나타내었다.

그림 5의 모든 피실험자의 평균을 나타낸 혈관 지표보다는 태음인 그룹에서 이침 시술후 혈관 지표가 대조군보다 증가하는 것으로 보아 콜레스테롤과 중성지방에 민감한 태음인 그룹에서 이침 자극의 효과가 조금 더 확실히 나타나는 것으로 보인다.

그림 7은 BMI에 따른 혈관 탄성도를 이침 시술 전

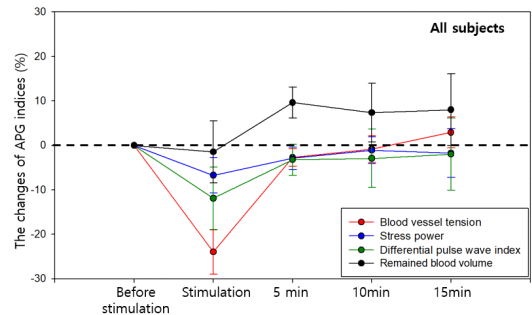


그림 5. 이침시술에 따른 가속도맥파로부터 얻은 혈관지표 변화
Fig. 5. The change of APG indices vs. time.

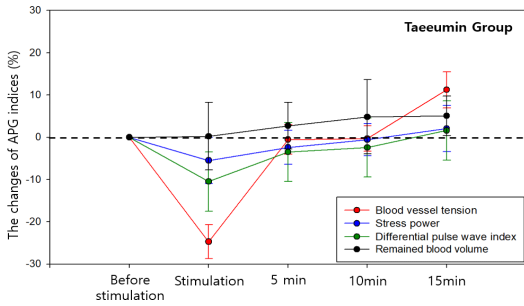


그림 6. 태음인 그룹에서 이침 시술에 따른 가속도맥파로부터 얻은 혈관지표 변화
 Fig. 6. The change of APG indices vs. time for Taeumin group

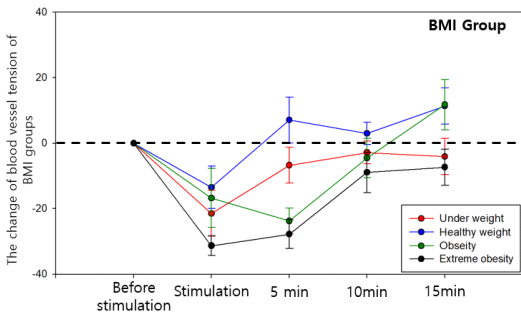


그림 7. BMI 그룹에서의 혈관탄성도 변화.
 Fig. 7. The change of blood vessel tension for BMI groups.

후 시간으로 나타낸 것이다.

모든 그룹에서 이침 시술 직후는 대조군보다 혈관 탄성도가 낮지만 시간이 경과함에 따라 증가하는 성향을 볼 수 있다. 정상군과 비만군은 이침 시술시간이 경과함에 따라 혈관탄성도가 대조군보다 개선되는 것으로 보인다. 하지만 저체중군과 고도비만 그룹에서는 이침 시술 후 대조군보다 혈관탄성도가 증가하지 않는 것으로 보아 이 두 그룹에서는 이침 효과가 크지는 않는 것으로 보인다.

IV. 결 론

본 연구에서는 귀의 신문혈과 심혈, 내분비혈에 이침 시술을 실시한 후 시술 전과 비교하여 자율신경계와 GSR, 그리고 APG로부터 혈관탄성도, 박출강도, 미분 맥파 지수 및 잔혈량등 혈관 지표 변화를 관측하였다. 그 결과 시술 전에 비하여 자율신경계 내의 부교감신경이 활성화됨을 관찰할 수 있었다. 따라서 선택한 혈자리인 신문혈, 심혈, 내분비혈에 이침 시술을 하면 심신을 이완시켜 안정한 상태로 변화에 효과가

있는 것으로 해석할 수 있다.

GSR의 경우 이침 시술 후 긴장 완화로 인한 임피던스의 증가로 감소 되었다. 이러한 결과는 적절한 혈 자리에 이침 시술은 자율신경계의 부교감신경의 항진을 촉진시켜 인체를 이완시킨다는 결과와 일치하는 것으로 볼 수 있었다.

APG로부터 분석한 혈관 탄성도, 박출강도, 미분 맥파 지수, 잔혈량등 혈관 지표 또한 이침 시술 후 시간이 경과함에 따라 대조군에 비해 개선되는 것을 보여주었다. 혈관 상태와 밀접한 관련이 있는 BMI 지수에 따른 혈관 지표 분석에서는 특히 혈관탄성도에서 이침 효과에 대한 개선 효과를 확인할 수 있었다. 또한 사상체질별 분석에서 태음인 그룹이 이침 시술 이후 모든 혈관 지표가 증가됨을 확인하였다.

자율신경계와 GSR 분석에서 이침 시술을 신문혈, 심혈, 내분비혈에 한 후 5분이 경과하면 심신이 이완되고 안정화되었으며 이는 혈액순환에도 영향을 준다는 것을 가속도 맥파 분석을 통해 입증하였다. 이침 시술의 효능을 확실하게 규명하기 위해 추후 연구에서는 동일한 피실험자들을 장기간에 걸친 반복 실험을 통한 연구와 타 혈자리의 이침 시술 및 태양인, 소양인 그룹에 대한 피실험자들에 대한 추가 실험이 필요한 것으로 판단되며 또한 이침 시술이 아닌 다른 물리적 자극술을 이용하여 효과의 지속시간을 늘리기 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

References

- [1] M. J. Cowan, "Measurement of heart rate variability," *Western J. Nursing Res.*, vol. 17, no. 1, pp. 32-48, Jan. 1995.
- [2] J. J. Park, N. C. Lim, and I. C. Seol, "The consideration about the insomnia patient which sees as HRV," *J. Hawhwa Med.*, vol. 13, no. 1, pp. 39-45, Jun. 2004.
- [3] S. B. Kim, N. R. Lee, Y. I. Joo, Y. H. Lee, and B. J. Jung, "Analysis of hyperpigmentation change for extravasated blood evaluation by cupping stimulation," *Korean J. Acupuncture*, vol. 28, no. 1, pp. 53-60, Mar. 2011.
- [4] S. M. Park, S. H. Lee, J. C. Jung, K. H. Kim, H. J. Park, S. Lim, and D. I. Chang, "Effect of moxibustion treatment on UPDRS and heart rate variability in idiopathic parkinson's disease patients," *J. Korean Med.*, vol. 26, no.

- 2, pp. 176-181, Jun. 2005.
- [5] H. Mori, K. Nishijo, H. Kawamura, and T. Abo, "Unique immunomodulation by electro-acupuncture in humans possibly via stimulation of the autonomic nervous system," *Neurosci. Lett.*, vol. 320, no. 1-2, pp. 21-24, Mar. 2002.
- [6] E. Haker, H. Egekvist, and P. Bjerring, "Effect of sensory stimulation (acupuncture) on sympathetic and parasympathetic activities in healthy subjects," *J. Autonomic Nervous System*, vol. 79, no. 1, pp. 52-59, Feb. 2000.
- [7] B. H. Jang, J. H. Lee, K. S. Mun, J. W. Kim, and O. Kwon, "Effect of auricular acupuncture for mental stress on heart rate variability(HRV)," *J. Acupuncture Res.*, vol. 22, no. 6, pp. 173-180, Dec. 2005.
- [8] S. Y. Sung, 耳針 穴位의 新研究(이침 혈위의 신연구), 글다듬, 23, 2013.
- [9] S. H. Lee, 누구나 집에서 간편하게 따라할 수 있는 이침요법, Random House Joongang, 57, 2005.
- [10] B. K. Lee, 알기쉬운 이침, (주)침코리아, 91-92, 2005.
- [11] D. S. Moon, W. S. Kang, J. W. Paik, J. Y. Song, and J. W. Kim, "Secondary adrenal insufficiency initially misdiagnosed as depression : A case report," *Korean J. Psychosomatic Med.*, vol. 19, no. 2, pp. 109-114, Sep. 2011.
- [12] S. H. Hong and M. H. Kong, "Effects of stress and psychological symptoms on heart rate variability," *The Korean J. Stress Res.*, vol. 19, no. 3, pp. 231-236, Sep. 2011.
- [13] M. S. Jeong, W. J. Choi, K. W. Lee, S. G. Lee, J. E. Kim, J. C. Lee, and K. M. Park, "The effects of acupuncture stimulation on skin conductance response of anxiety patients and normal subjects," *J. Oriental Neuropsychiatry*, vol. 20, no. 2, pp. 101-110, Feb. 2009.
- [14] W. T. Roth, F. H. Wilhelm, and W. Trabert, "Autonomic instability during relaxation in panic disorder," *Psychiatry Res.*, vol. 80, no. 2, pp. 155-164, Aug. 1998.
- [15] M. E. Dawson, "Psychophysiology at the interface of clinical science, cognitive science, and neuroscience," *Psychophysiology*, vol. 27, no. 3, pp. 243-255, May 1990.
- [16] S. Bagha and L. Shaw, "A real time analysis of PPG signal for measurement of SPO₂ and pulse rate," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 36, no. 11, pp. 45-50, Dec. 2011.
- [17] I. H. Lee, C. J. Choi, C. M. Kim, S. A. Yoon, J. H. Hong, and J. Y. Kim, "The examination of the acute vascular changes due to smoking using second derivative of photoplethysmogram," *Korean J. Family Med.*, vol. 31, no. 9, pp. 679-687, Sep. 2010.
- [18] K. Takazawa, N. Tanaka, M. Fujita, O. Matsuoka, T. Saiki, M. Aikawa, and C. Ibukiyama, "Assessment of vasoactive agents and vascular aging by the second derivative of photoplethysmogram waveform," *Hypertension*, vol. 32, no. 2, pp. 365-370, Aug. 1998.
- [19] Y. Iketani, T. Iketani, K. Takazawa, and M. Murata, "Second derivative of photoplethysmogram in children and young people," *Japanese Circulation J.*, vol. 64, no. 2, pp. 110-116, May 2000.
- [20] N. Miyai, K. Miyashita, M. Arita, I. Morioka, K. Kamiya, and S. Takeda, "Noninvasive assessment of arterial distensibility in adolescents using the second derivative of photoplethysmogram waveform," *Eur. J. Appl. Physiol.*, vol. 86, no. 2, pp. 119-124, Dec. 2001.
- [21] Y. K. Nam, K. Y. Kim, M. S. Lee, D. K. Kim, and M. Y. Jang, "TA study on maximum oxygen uptake according to body measurement and vascular compliance," *J. Korea Academia- Ind. Cooperation Soc.*, vol. 10, no. 11, pp. 3458-3464, Nov. 2009.
- [22] K. J. Kim and D. L. Kim, "Experimental study on constitutional composition of serum lipid," *J. Constitutional Med.*, vol. 5, no. 1, pp. 139-145, Aug. 1993.

나 범 기 (Beom-ki Na)



2021년 2월: 상지대학교 한방
의료공학과 졸업
<관심분야> 전자공학, 통신공
학, 의료공학
[ORCID:0000-0001-9353-3655]

유 준 상 (Jun-sang Yu)



1997년 2월: 상지대학교 한의
학 석사 학위 취득
2003년 2월: 상지대학교 한의
학 박사 학위 취득
2006년 3월: 상지대학교 한방
병원 사상체질의학과 과장
<관심분야> 한의학, 사상체질
학, 침구학

[ORCID: 0000-0003-0190-0193]

안 준 모 (Jun-mo Ahn)



2021년 2월: 상지대학교 한방
의료공학과 졸업
<관심분야> 전자공학, 의료공
학, 의학물리

이 현 숙 (Hyun-sook Lee)



1987년 2월: 연세대학교 물리
학 석사 학위 취득
1993년 5월: 퍼듀대학교 물리
학 박사 학위 취득
1994년 3월: 상지대학교 물리
학과 교수

[ORCID:0000-0002-9186-1310]

<관심분야> 전자공학, 의료공학, 신호 시스템

방 승 환 (Seung-hwan Bang)



2021년 2월: 상지대학교 한방
의료공학과 졸업
<관심분야> 전자공학, 의료공
학, 의학물리