

분절임피던스를 기준한 분절다주파수 생체임피던스의 일치도 분석

¹탕새조, ²김장희, ³엄진중, ⁴엄선호, ⁵김학균, ^{6*}김철현

Validation of Segmental Multi-Frequency Bioelectrical Impedance Analysis based on the Segmental Bioelectrical Impedance analysis in the Elderly Population

¹Sae-Jo Tang, ²Jang-Hee Kim, ³Jin Jong Eom, ⁴Sunho Eom and ⁵Hakkyun Kim,
^{6*}Chul-Hyun Kim

요약

분절다중주파수 생체전기임피던스분석법(Segmental Multi-frequency Bioelectrical Impedance)은 최근 체성분 검사를 위해 선호되는 검사법이다. 그러나 SMF-BIA는 팔다리와 몸통의 임피던스를 추정하는 방법으로 정확한 사용을 위해서는 타당성에 대한 확인이 요구된다. 본 연구는 SMF-BIA를 인체의 분절임피던스를 기준하여 분절별 임피던스의 추정값에 대한 정확도와 타당도를 검증하는데 목적하였다. 연구목적을 위해 노인 108명을 대상으로 50kHz 주파수에서 얻어진 분절별 생체전기 임피던스값에 대하여 분절 생체임피던스 측정치 비교하였다. 실험 결과 오른쪽 팔의 저항 값은 준거 값에 비해 유의한 수준으로 높았다(저항값: $35.5 \pm 6.2\%$, $P < 0.001$; 리액턴스: $2.7 \pm 7.6\%$, $P < 0.01$). 왼쪽팔, 오른쪽 다리와 왼쪽다리의 생체저항값은 준거값에 비해 모두 유의하게 높았다. 몸통의 추정값은 기준값에 비해 가장 큰 차이를 보였다(저항값: $65.4 \pm 3.2\%$, $P < 0.001$; 리액턴스: $89.2 \pm 1.8\%$, $P < 0.001$). 두 방법으로 측정한 임피던스 결과에서 사지와 전신의 생체저항값은 높은 상관관계(RA: $R = 0.950$ LA: $R = 0.949$ RL: $R = 0.899$, LL: $R = 0.888$)를 보였으며, 팔과 다리에서도 유의한 상관관계를 보였다. 따라서 분절다주파수 생체임피던스는 준거와 높은 상관도와 함께 유의한 오차를 보여, 향후 오차 수준을 줄이기 위한 연구가 필요하였다.

Abstract

A frequently used bioimpedance analytical method in Korea is the segmental multi-frequency BIA (SMF-BIA) method, but it is not directly determined at a segmented impedance. This study was to compare SMF-BIA determinations with direct segmented determinations for accuracy and appropriateness of segment parameters. This study is to compare the segment parameters, accuracy and appropriateness of the multi-frequency segmental bioimpedance analysis. To this end, 108 elderly individuals were measured. Segmented bioelectrical measurements obtained from a SMF-BIA (Inbody S10) at 50 kHz and measured with a phase sensitive single frequency device (SF-BIA, bia-101, RJL / akern systems) were compared. The significant difference (%) was demonstrated between single - and multiple frequency determinations of the right upper limb ($R = 35.5 \pm 6.2\%$, $P < 0.001$; $X_c = 2.7 \pm 7.6\%$, $P < 0.01$), left upper limb difference ($R = 33.9 \pm 6.0\%$, $P < 0.001$; $X_c = 2.8 \pm 8.3\%$, $P < 0.01$),

¹ 순천향대학교/박사과정(tangsaizhao@sch.ac.kr)

² 스포츠유전자 CEO(kimjanghee@kakao.com)

³ 순천향대학교 사회체육학과 교수 (eomjjong@sch.ac.kr)

⁴ 순천향대학교 석사과정(ush1995@sch.ac.kr)

⁵ 순천향대학교 박사과정(wjddkkgkrrbslove@sch.ac.kr)

^{6*}교신저자 순천향대학교 스포츠의학과 부교수(kimch37@sch.ac.kr)

right lower limb difference ($R = 18.6 \pm 4.3\%$, $P < 0.001$; $Xc = 25.8 \pm 10.0\%$, $P < 0.001$), left lower limb difference ($R = 18.0 \pm 4.7\%$, $P < 0.001$; $Xc = 31.8\%$). Of the results determined with the two BIA methods, the impedance measurements of the limbs and whole body showed a high correlation (RA: $R = 0.950$, LA: $R = 0.949$, RL: $R = 0.899$, LL: $R = 0.88$), and in the agreement test, the impedance values of the upper limbs and whole body also showed strong agreement ($ICC > 0.9$), but in the Xc , the correlation was weak. In conclusion, it was found that although bioimpedance devices had significantly different characteristics and inconsistent cross sectionally, there was a high population level agreement in the upper and lower extremities in determining segmental resistance value changes. But a large error was found on the trunk. Further studies were needed for reducing the error.

Keywords: bioelectrical impedance, segmental, validity, agreement, reactance, resistance

I. 서론

생체전기저항법(BIA: Bioelectrical Impedance Analysis)은 인체의 세포외액과 세포내액으로 미세한 전류를 보내 얻어진 저항을 이용하여 총 체수분을 구하고 체지방의 총 체수분이 0.732에 상수를 모형으로 신체의 성분을 평가하는데 사용된다[1]. 생체전기저항법 중 Hooper가 제안한 전신 생체전기저항법은 오른쪽 손과 오른쪽 발에 각각 2 점씩 총 4 점씩의 전극으로 미세한 전류를 보내 얻어지는 생체전기저항지수를 이용하여 체성분을 추정하는 방법으로 총체수분, 체지방, 체지방을 추정한다. 전신 생체전기저항법이 전통적으로 사용되어오는 방법으로 지속적인 기술의 발전으로 단주파수에서 다주파수로 전신에서 분절법으로 체성분을 추정하는 방법이 개발되어 왔다 [1].

분절다주파수 생체전기저항법(SMF-BIA: Segmental Multi-frequency bioelectrical impedance analysis)은 한국에서 개발되어 보편적으로 사용하는 방법으로 5kHz~2MHz 영역에 오른팔, 왼팔, 몸통, 왼쪽 다리, 오른쪽 다리의 분절별 임피던스(Impedance, Z), 인체저항(Resistance, R), 리액턴스(Reactance: Xc)를 측정하며 체수분을 검사하여 영양 상태와 건강체력의 실용적인 방법으로 임상현장이나 역학적 수준의 연구에 적용할 수 있다[2-7]. 이때, 분절다주파수 생체전기저항법에서의 분절별 생체전기저항 변인들은 수식에 의한 추정치이다. SMF-BIA는 좌측과 우측의 체성분과 팔-다리-몸통의 분절별 체성분을 추정하기 때문에 실제적인 분절별 임피던스의 신뢰성과 타당성을 확보하여 정확한 분절별 체성분을 제시할 필요가 있다. 따라서 SMF-BIA의 분절별 임피던스의 타당성에 대한 연구가 미비한 실정이다[1-8].

한편, 노인은 노화과정에서 체성분 및 골격근량의 변화 속도가 빠르고 변화량이 크다. 상대적으로 변화 수준이 일정한 성인과 다른 노인들에서의 생리학적 체성분의 큰 변화량은 다른 연령대 보다는 노인들에서 특히 SMF-BIA에서 추정하는 분절별 임피던스의 타당성에 대한 확인이 필요하다[3,7].

따라서 이 연구는 노인을 대상으로 직접방식의 분절별 임피던스 파라미터를 준거로 SMF-BIA에서 추정되는 분절별 임피던스 파라미터의 정확도와 타당도를 검증하고자 하였다.

II. 연구방법

2.1 연구대상

이 연구의 피험자는 65세 이상 노인 총 108명 중 남자 58명 여자 50명이 참여하였다. 참여자는 지역신문 및 소셜미디어 광고를 통해 모집하였고, 각 구청 보건소에 등록된 노인들 중 참여 의사를 밝힌 사람들을 대상으로 실시하였다. 참여 의사를 밝힌 대상 중 치명적 질환 또는 말기 질환자, 심박조율기 등 장치를 하고 있는 사람들은 연구대상에서 제외하였다. 신체 구성 측정 전 모든 대상자는 4시간 이상 금식 상태를 유지하였다. 체중은 가벼운 옷을 입은 상태에서

500g 단위로 (CAS DB-1, 대한민국) 측정하였다. 신장은 국민건강영양조사의 지침에 따라 1mm 단위로 (SECA 274, 독일) 측정하였다.

2.2 생체임피던스기기

50khz 주파수에서 다주파수 생체저항 분석장치(InBody S10, InBody®, Seoul, Korea)에서 측정한 전신생물저항을 단일주파수장치(SF-BIA, RJL-101, RJL/Akern Systems)에서 측정한 결과와 비교하였다. 검사를 실시하는 동안 대상자는 해부학 자세에서 양팔이 몸에 15° 정도 떨어진 상태를 유지하여, 각각 전극을 인체에 접촉하여 시행하였다.

2.3 측정 및 절차

RJL 는 50kHz 아래 5 개의 분절(오른팔, 왼팔, 몸통, 오른쪽 다리, 왼쪽 다리)를 측정하였고 다주파수 장치는 6 가지의 서로 다른 주파수(1, 5, 50, 250, 500, 1000kHz)이용하여 오른쪽 팔, 왼쪽팔, 몸통, 오른쪽 하지, 왼쪽 하지의 임피던스 변인을 측정하였다.

대상자는 금속을 모두 제거한 뒤 두 다리를 펴고 팔이 트렁크에 닿지 않은 채 15분간 침대에 누워 있고 단일 주파수 장치로 측정한 다음 다 주파수 장치로 측정하였다.

2.4 통계분석

기술 통계량을 수행하고 모든 변수의 정규성을 검증하였다. 대응표본(paired- t test)검정은 두 장치의 평균값을 비교하는 데 사용되었다. 통계적 유의성은 $p < 0.05$ 로 설정되었다. 비교 변수에는 측정된 계수와 추정된 표준 오차의 분석이 포함되었다. 선형회귀분석을 통해 기울기와 y-절편($y=x+b$)을 통해 분석하였다. 또한 ICC(Intraclass 상관 계수)를 사용하여 방법 간의 일관성을 평가하였다. 데이터 분석에는 IBM SPSS 23.0 이 사용되었다.

III. 연구결과

3.1 동적 접근 제어 모델

<표 1>은 참가자 인구통계학적 특성을 보여준다. 여성에 비해 남성은 체중과 신장($p < 0.001$)이 유의한 차이를 나타냈고, 연령과 BMI 에는 차이가 없었다.

SF-BIA(RJL)와 SMF-BIA(InBody S10)에 의해 측정된 R 및 Xc 값은 <표 2>와 <표 3>과 같다. SF-BIA 를 기준으로 SMF-BIA 에서 측정한 R 과 Xc 값은 유의한 차이를 나타냈다($p < 0.01$). 저항과 리액턴스 측정에서 오른쪽 팔 ($R = 35.5 \pm 6.2\%$, $Xc = 2.7 \pm 7.6\%$), 왼쪽 팔($R = 33.9 \pm 6.0\%$, $Xc = 2.8 \pm 8.3\%$), 오른쪽 다리 ($R = 18.6 \pm 4.3\%$, $Xc = 25.8 \pm 10.0\%$), 왼쪽 다리가 높게 나타났다. 특히 몸통에서 차이($R = 65.4 \pm 3.2\%$, $Xc = 89.2 \pm 1.8\%$)가 유의하게 가장 큰 차이를 나타내었다.

Table 1. Characteristics of elderly people
표 1. 노인 대상자의 일반적인 특성

	Female (N=50)	Male (N=58)	Total (N=108)
Age (year)	75.1±3.8	76.3±3.7	75.8±3.8
Weight (kg)	54.9±6.2 +++	66.1±7.1	60.9±8.7
Height (cm)	152.6±4.9+++	166.7±4.8	160.2±8.5
BMI (kg/m ²)	23.5±2.1	23.8±2.2	23.7±2.2
R _{RJL} (Ω)	577.6±51.7	497.2±41.7	534.4±61.4
X _{CRJL} (Ω)	73.7±7.1	79.6±6.3	76.9±7.3
Z _{RJL} (Ω)	582.3±51.6	503.5±41.6	540.0±60.8

+++ difference between male and Female (P<0.001)

Table 2. Comparisons of Segmental Resistance (R) between RJL and InBody S10
 표 2. RJL 와 InBody S10 두 장치 간의 분절 저항(R)값 비교

	R _{RJL}	R _{S10}	△R	△R(%)	Ratio_R
	(F=50, M=58)	(F=50, M=58)	(S10-RJL)	(S10-RJL)/ RJL*100	(S10/RJL)*100
RA	239.1±34.9	323.2±44.4	84.2±15.7***	35.5±6.2	1.36±0.06
LA	244.6±35.2	326.8±43.5	82.2±15.0***	33.9±6.0	1.34±0.06
TR	78.8±9.0	27.1±2.4	-50.7±7.8***	-65.4±3.2	0.35±0.03
RL	216.6±24.0	176.1±20.4	-40.5±10.6***	-18.6±4.3	0.81±0.04
LL	217.2±26.5	177.7±20.6	-39.4±12.6***	-18.0±4.7	0.82±0.01

F: female, M: male, R: Resistance, RA: Right Arm, LA: Left Arm, TR: Trunk, RL: Right Leg, LL: Left Leg.

* difference between RJL and S10 (P<0.05)

** difference between RJL and S10 (P<0.01)

*** difference between RJL and S10 (P<0.001)

Table 3. Comparisons of Segmental Reactance (Xc) between RJL and InBody S10
 표 3. RJL 와 InBody S10 두 장치 간의 분절 리액턴스(Xc)값 비교

	X _{CRJL}	X _{CS10}	△Xc	△Xc(%)	Ratio_Xc
	(F=50, M=58)	(F=50, M=58)	(S10-RJL)	(S10/RJL)*100	(S10-RJL)/ RJL*100
RA	27.4±2.7	28.1±2.9	0.7±2.1**	2.7±7.6	1.03±0.08
LA	26.9±2.5	27.6±3.1	0.7±3.0**	2.8±8.3	1.03±0.08
TR	25.6±3.7	2.7±0.4	22.9±3.5***	-89.2±1.8	0.11±0.02
RL	23.9±3.1	17.7±3.0	-6.2±2.7***	-25.8±10.0	0.74±0.01
LL	24.8±3.6	16.8±2.8	-8.0±3.0***	-31.8±9.0	0.68±0.09

WBa: Whole body is the sum of the segmental for right arm and leg, trunk, left arm and leg.

F: female, M: male, Xc: Reactance, RA: Right Arm, LA: Left Arm, TR: Trunk, RL: Right Leg, LL: Left Leg.

* difference between RJL and S10 (P<0.05)

** difference between RJL and S10 (P<0.01)

*** difference between RJL and S10 (P<0.001)

두 가지 방법으로 측정된 BIA 결과에서 사지측정치와 추정치에 대한 상관도는 유의하게 높 수준을 나타내었다 (RA: $r = 0.950$, LA: $r = 0.949$, RL: $r = 0.899$, LL: $r = 0.888$). 기울기는 1 과 유의한 차이가 있고, 유목내상관계수는 팔다리에서 높은 수준을 나타내었다($ICC > 0.9$). 한편, 리액턴스(Xc)에서 낮은 상관을 나타냈다.

Table 4. Bivariate regression analysis for R, Xc, RhA for InBody S10 from S10 at 50kHz
 표 4. 50kHz 에서 InBody S10 을 사용한 R, Xc, PhA 및 Z 추정치와 기준 방법(RJL)에 대한 회귀 및 상관 분석

	r	R2	SEE	Slope	Intercept	ICC
R-RA	0.950	0.903	10.963	0.7465***	-2.191	0.960
R-LA	0.949	0.901	11.179	0.769***	-6.649	0.963
R-TR	0.611	0.373	7.198	2.269***	17.29*	0.469
R-RL	0.899	0.807	10.624	1.059***	30.18**	0.940
R-LL	0.888	0.788	12.263	1.144***	13.89	0.925
R-WB	0.940	0.884	21.031	0.914***	53.10**	0.969
Xc-RA	0.718	0.516	1.857	0.670***	8.638***	0.840
Xc-LA	0.693	0.480	1.804	0.55***	11.63***	0.805
Xc-TR	0.533	0.284	3.146	5.416***	11.21***	0.189
Xc-RL	0.607	0.368	2.456	0.6168***	13.06***	0.759
Xc-LL	0.582	0.339	2.885	0.734***	12.47***	0.729
Xc-WB	0.538	0.290	6.180	0.744***	40.84***	0.677
PhA-RA	0.860	0.739	0.527	1.48***	-0.7721	0.855
PhA-LA	0.837	0.700	0.543	1.241***	0.3241	0.874
PhA-TR	0.569	0.324	2.622	2.42***	4.520*	0.405
PhA-RL	0.602	0.363	0.647	0.496***	3.473***	0.743
PhA-LL	0.623	0.389	0.671	0.6254***	3.146	0.768
PhA-WB	0.758	0.574	0.773	1.389***	0.913	0.778

R resistance, Xc reactance, PhA phase angle, r coefficient of correlation, SEE standard error of estimation, RA right arm, RL right leg, TR trunk, LA left arm, LL left leg, WB whole body. ICC Intraclass correlation coefficient.

* significantly different from 0 or 1 (P<0.05)

** significantly different from 0 or 1 (P<0.01)

*** significantly different from 0 or 1(P<0.001)

IV. 논의 및 결론

이 연구는 SMF-BIA 와 SF-BIA 를 50kHz 에서 비교 측정하였다. 주요 결과는 첫째, 사지의 R 은 높은 상관성이 관찰되었으나, Xc 와 PhA 측정치에서 전신과 사지의 일반적인 상관성은 낮았다. 둘째, 몸통 R 값은 상관성이 낮고 오차가 크게 나타났다. 셋째, SMF-BIA 는 SF-BIA 를 준거로 일치도는 낮은 수준이었다. 50kHz 에서 SF-BIA 에 비해 SMF-BIA 는 분절 요인인 R 과 Xc 에서 상지가 높고 몸통과 하지는 유의하게 낮은 수준으로 나타났고 몸통에서 가장 크게 나타났다.

이 결과에 따라 추정된 분절 다주파수 생체전기저항법의 분절 임피던스는 팔의 저항은 과대해석되고 몸통과 다리는 과소해석되어 추정되는 것으로 나타났다. 따라서 SMF-BIA 임피던스의 해석에 주의가 필요한 것으로 사료된다.

몇몇 연구에서 분절별 다주파수(SMF-BIA)와 단주파수(SF-BIA)를 사용한 전신 임피던스 파라미터의 측정치를 비교하였다. 이들 대상자에는 건강한 성인 여성[8], 혈액투석 환자[9], 매우 활동적인 일반인[10], 보디빌더[11], 노인[12], 어린이[13] 대상으로 전신 임피던스는 유의한 차이를 발견됐다. 건강한 성인 여성과 노인 대상으로 세 가지 BIA 기기를 사용해서 전신, 손과 발의 임피던스를 비교하여 역시 유의하게 발견됐다[5].

요인별 차이는 SF-BIA 에서만 사용되는 어깨와 엉덩이의 추가 전극 위치가 설명될 수 있다. Coish et al.(1999)[15]의 원기둥 모형에 따르면, 전극은 팔이나 다리의 꼭대기에 정확하게 놓이지 않는다. 1cm 의 전극위치 이동은 측정한 신체 임피던스의 변화를 2% 초래할 수 있다. 또한 전류의 경로는 SF-BIA 에서 명확하게 정의되어 있지만 SMF-BIA 에서는 그렇지 않다. SF-BIA 를 사용할 경우 팔의 도체 길이가 SMF-BIA 보다 짧아져 R 값이 더 높게 가정할 수 있다. 다리의 경우 반대로 SF-BIA 의 R 값이 SMF-BIA 의 R 보다 높을 수 있다.

전극의 위치는 전신 또는 분절 저항 측정에 영향을 미칠 수 있다. Shiffman C. A. (2013)[15]의 연구 결과는 관찰된 전장 분포 함수로 인해 서로 다른 전극 특성이 저항 측정에 현저하게 영향을 미친다고 보고하였다. 약간의 위치 차이는 사지의 말단 부분이 전신 저항에 불균형하게

기여하기 때문에 의미 있는 영향을 미칠 수 있다[16]. 원인은 손과 발의 뼈 구조, 굳은살과 건조한 피부의 존재, 그리고 이 부분의 좁은 지름이 포함될 수 있다[17]. 또는 전압 측정 영역에 너무 가까운 곳에 전류 전극을 두는 것은 고유의 오류가 있을 수 있다[18,19]. 또한 전극의 유형이 전신 또는 분절 저항 측정에 영향을 미칠 수 있는데, 다양한 부위에 부착 전극을 사용하여 추정된 임피던스가 잠재인 오차로 예측되다[20].

요약하면, 노인에서 SF-BIA(RJL)를 기준하여 SMF-BIA(InBody S10)의 분절 임피던스 요인(parameters)의 일치도가 낮았다. 특히, 몸통은 과소추정되는 경향을 나타내었다. 따라서 향후 체간(Trunk)의 임피던스에 대한 보정이 선행되어야 필요가 있다.

VI. 참고문헌

- [1] Kyle, U. G., Bosaeus, I., De Lorenzo, A. D., Deurenberg, P., Elia, M., Gómez, J. M., Heitmann, B. L., Kent-Smith, L., Melchior, J. C., Pirlich, M., Scharfetter, H., Schols, A. M., Pichard, C., & Composition of the ESPEN Working Group (2004). Bioelectrical impedance analysis--part I: review of principles and methods. *Clinical nutrition (Edinburgh, Scotland)*, 23(5), 1226–1243.
- [2] Bedogni, G., Marra, M., Bianchi, L., Malavolti, M., Nicolai, E., De Filippo, E., & Scalfi, L. (2003). Comparison of bioelectrical impedance analysis and dual-energy X-ray absorptiometry for the assessment of appendicular body composition in anorexic women. *European journal of clinical nutrition*, 57(9), 1068–1072.
- [3] Jones, M. D., Wewege, M. A., Hackett, D. A., Keogh, J., & Hagstrom, A. D. (2021). Sex Differences in Adaptations in Muscle Strength and Size Following Resistance Training in Older Adults: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 51(3), 503–517.
- [4] Kotani, K., Tokunaga, K., Fujioka, S., Kobatake, T., Keno, Y., Yoshida, S., Shimomura, I., Tarui, S., & Matsuzawa, Y. (1994). Sexual dimorphism of age-related changes in whole-body fat distribution in the obese. *International journal of obesity and related metabolic disorders : journal of the International Association for the Study of Obesity*, 18(4).
- [5] Mally, K., & Dittmar, M. (2012). Comparison of three segmental multifrequency bioelectrical impedance techniques in healthy adults. *Annals of human biology*, 39(6), 468–478.
- [6] Gallagher, D., Visser, M., De Meersman, R. E., Sepúlveda, D., Baumgartner, R. N., Pierson, R. N., Harris, T., & Heymsfield, S. B. (1997). Appendicular skeletal muscle mass: effects of age, gender, and ethnicity. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 83(1), 229–239.
- [7] Sawada, M., Kubota, N., Sekine, R., Yakabe, M., Kojima, T., Umeda-Kameyama, Y., Usami, S., Akishita, M., & Ogawa, S. (2021). Sex-related differences in the effects of nutritional status and body composition on functional disability in the elderly. *PloS one*, 16(2), e0246276.
- [8] Tinsley, G. M., Moore, M. L., Silva, A. M., & Sardinha, L. B. (2020). Cross-sectional and longitudinal agreement between two multifrequency bioimpedance devices for resistance, reactance, and phase angle values. *European journal of clinical nutrition*, 74(6), 900–911.
- [9] Piccoli, A., Pastori, G., Guizzo, M., Rebeschini, M., Naso, A., & Cascone, C. (2005). Equivalence of information from single versus multiple frequency bioimpedance vector analysis in hemodialysis. *Kidney international*, 67(1), 301–313.
- [10] Silva, A. M., Matias, C. N., Nunes, C. L., Santos, D. A., Marini, E., Lukaski, H. C., & Sardinha, L. B. (2019). Lack of agreement of in vivo raw bioimpedance measurements obtained from two single and multi-frequency bioelectrical impedance devices. *European journal of clinical nutrition*, 73(7), 1077–1083.
- [11] Piccoli, A., Pastori, G., Codognotto, M., & Paoli, A. (2007). Equivalence of information from single frequency v. bioimpedance spectroscopy in bodybuilders. *The British journal of nutrition*, 97(1), 182–192.

- [12] Genton, L., Norman, K., Spoerri, A., Pichard, C., Karsegard, V. L., Herrmann, F. R., & Graf, C. E. (2017). Bioimpedance-Derived Phase Angle and Mortality Among Older People. *Rejuvenation research*, 20(2), 118–124.
- [13] Tanabe, R. F., de Azevedo, Z. M., Fonseca, V. M., Peixoto, M. V., dos Anjos, L. A., Gaspar-Elsas, M. I., Moore, D. C., & Ramos, E. G. (2012). Distribution of bioelectrical impedance vector values in multi-ethnic infants and pre-school children. *Clinical nutrition (Edinburgh, Scotland)*, 31(1), 144–148.
- [14] Cornish, B. H., Jacobs, A., Thomas, B. J., & Ward, L. C. (1999). Optimizing electrode sites for segmental bioimpedance measurements. *Physiological measurement*, 20(3), 241–250.
- [15] Shiffman C. A. (2013). Adverse effects of near current-electrode placement in non-invasive bioimpedance measurements. *Physiological measurement*, 34(11), 1513–1529.
- [16] Scheltinga, M. R., Jacobs, D. O., Kimbrough, T. D., & Wilmore, D. W. (1991). Alterations in body fluid content can be detected by bioelectrical impedance analysis. *The Journal of surgical research*, 50(5), 461–468.
- [17] Tinsley, G. M., Harty, P. S., Moore, M. L., Grgic, J., Silva, A. M., & Sardinha, L. B. (2019). Changes in total and segmental bioelectrical resistance are correlated with whole-body and segmental changes in lean soft tissue following a resistance training intervention. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(1), 58.
- [18] Fuller, N. J., Fewtrell, M. S., Dewit, O., Elia, M., & Wells, J. C. (2002). Segmental bioelectrical impedance analysis in children aged 8-12 y: 2. The assessment of regional body composition and muscle mass. *International journal of obesity and related metabolic disorders : journal of the International Association for the Study of Obesity*, 26(5), 692–700.
- [19] Stahn A, Terblanche E and Gunga H-C. (2012). Use of bioelectrical impedance: general principles and overview *Handbook of Anthropometry: Physical Measures of Human form in Health and Disease* ed V R Preedy (New York: Springer) pp 49–90 chapter 3
- [20] Nescolarde, L., Lukaski, H., De Lorenzo, A., de-Mateo-Silleras, B., Redondo-Del-Río, M. P., & Camina-Martín, M. A. (2016). Different displacement of bioimpedance vector due to Ag/AgCl electrode effect. *European journal of clinical nutrition*, 70(12), 1401–1407.

저자 소개



탕새조 (Sae-Jo Tang)

2012 년 09 월 지서우대학교(Jishou University) 체육대학 체육교육 학사
 2016 년 09 월 지서우대학교 일반대학교 사회체육학 석사
 2019 년 09 월~현재 순천향대학교 일반대학원 스포츠의학 박사과정

관심분야 : 운동생리학, 신체구성, 생체전기저항법



김장희 (Jang-Hee Kim)

2013 년 12 월 서강대학교 경영전문대학원 SHAPE
 2015 년 08 월 학점은행제 경영학 석사
 2021 년 02 월 순천향대학교 일반대학원 ICT 융합학과 이학석사

관심분야 : 스포츠의학, 경영학, 집단유전학, 인문학, 심리학



엄진종 (Jin Jong Eom)

1988 년 08 월 인하대학교 교육대학원 체육학과 체육석사
 2004 년 02 월 수원대학교 일반대학원 체육학과 이학박사
 2006 년 03 월~현재 순천향대학교 사회체육학과 교수

관심분야 : 스포츠경영학, 승마 재활, 체조



김학균 (Hakyun Kim)

1994 년 2 월 한국체육대학교 체육학 학사
 2020 년 8 월 순천향대학교 일반대학원 체육학 석사
 2021 년 2 월~현재 순천향대학교 일반대학원 스포츠의학 박사과정

관심분야 : 운동생리학, 통합생리학, 집단유전학, 스포츠유전자



김철현 (Chul-Hyun Kim)

2001 년 2 월 한국체육대학교 일반대학원 체육학 운동생리생화학 석사
 2004 년 8 월 한국체육대학교 일반대학원 체육학 운동생리생화학 이학 박사
 2013 년 9 월~현재 순천향대학교 자연과학대학 스포츠의학과 부교수

관심분야 : 통합운동생리학, 집단유전학, 체성분, 생체전기저항법, 스포츠의학
