

Original Article

Establishment of Obesity Diagnosis Criteria Using Body Volume Index of 3D BodyScanner

Hyo-Jun Yun¹, Jiwun Yoon¹ and Minsoo Jeon^{2*}

¹Korea National Sport University

²Dankook University

Article Info

Received 2023. 11. 16.

Revised 2024. 03. 20.

Accepted 2024. 03. 28.

Correspondence*

Minsoo Jeon

minsoo1144@dankook.ac.kr

Key Words

Obesity, BVI (Body Volume Index), 3D BodyScanner, Optimal Cut-Point

PURPOSE This study sought to establish obesity diagnosis criteria by using the Body Volume Index (BVI) by body part extracted through 3D BodyScanner. **METHODS** The body fat percentage was measured using Dual Energy X-ray Absorptiometer (DEXA) for 225 participants (male = 119, female = 106), and BVI for eight body parts was measured using 3D BodyScanner. Independent t-test and Receiver Operating Characteristic (ROC) analysis were conducted. ROC analysis calculated the Area Under the Curve (AUC), and the optimal cut-point by Youden's J index. Sensitivity, Specificity, Accuracy, Balanced Classification Rate (BCR), and F1-score (harmonic mean of recall and precision) values were calculated to verify the validity of the optimal cut-point. **RESULTS** A statistically significant difference was observed in BVI by body part according to whether obesity was present for both men and women, and the obese group higher than the normal group. The optimal cut-point for each body part to diagnose obesity was 7.96 for shoulder, 9.79 for chest, 7.15 for upper abdominal, 7.71 for lower abdominal, 14.89 for total abdominal, 9.79 for thigh, 5.70 for calf, and 74.96 for total body volume in men. In case of women, this was 6.04 for shoulder, 9.82 for chest, 4.96 for upper abdominal, 6.23 for lower abdominal, 11.63 for total abdominal, 8.88 for thigh, 4.05 for calf, and 58.15 for total body volume, and the accuracy was 0.6~0.9. **CONCLUSIONS** BVI is a useful indicator for diagnosing obesity. However, this can be applicable only to Asian adults since there may be differences depending on race or age.

서론

비만은 건강을 해칠 수 있는 비정상적이거나 과도한 지방 축적이 있는 상태로 정의된다(WHO, 2021). 신체의 과도한 지방 축적은 관상동맥질환, 당뇨, 뇌졸중, 고혈압, 고지혈증 등에 대한 위험을 증가시켜 수명 단축의 위험도를 올리고 삶의 질을 악화시킨다(ACSM, 2022; Blüher, 2019; Park et al., 2020). 비만의 유병률은 세계적으로 꾸준히 상승하고 있는 것으로 보고되고 있으며(Nam et al., 2020), 비만으로 인한 합병증이 발생하여 의료 및 사회 경제적 부담이 생기게 되어 이를 해결하기 위해 비만을 간편하면서도 정확하게

진단하기 위한 연구들이 꾸준히 진행되고 있다(Blüher, 2019)

비만을 진단하는 방법은 여러 가지가 존재하지만 가장 대표적으로 BMI (Body Mass Index)와 체지방률이다. BMI는 체중(kg)을 신장(m) 제곱으로 나눈 값으로 간편한 측정과 고도의 전문성이 필요하지 않으며 특별한 장비나 도구가 요구되지 않기 때문에 경제적, 실용적인 측면에서 유용하게 사용되고 있다(Nuttall, 2015; Romero-Corral et al., 2008). 그러나 BMI는 근육량, 체격 등의 변수를 고려하지 않기 때문에 체지방이 과다한 사람을 비만으로 진단하지 못하고 근육의 부피가 큰 집단을 비만으로 진단하는 점에서 그 한계점은 꾸준히 제기되어 왔다(Burkhauser & Cawley, 2008; Prentice & Jebb, 2001; Romero-Corral et al., 2008; Rothman, 2008).

체지방률을 측정하는 방법은 skinfold, BIA (Bioelectrical Impedance Analysis), DEXA (Dual Energy X-ray Absorptiometr) 등이 있다. skinfold는 측정자의 전문성이 요구되

© This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

며, 체지방률을 추정하는 과정에서 성별, 연령별 등 피험자의 특성에 따라서 심각한 오류가 유발할 가능성이 있다(Jackson et al., 1980; Lohmen, 1981; Lohmen et al., 1984). BIA는 신체에 포함된 수분이 약 73%라고 가정하고 임피던스(Impedance)를 측정하여 체지방률을 추정하는 검사법이다(Segal et al., 1985). 그러나 개인의 신체 수분 상태에 따라 신체의 수분량이 73%라는 가정이 만족하지 않을 경우 낮은 재현성을 나타낼 수 있는 제한점을 가진다(O'Brien et al., 2002; Smit et al., 2003). 체지방률을 측정하는 가장 정확한 방법은 DEXA방법으로 임상에서 가장 유용하고 재현성이 높은 측정 도구이다(Lambert et al., 2012; Watts et al., 2006). 그러나 고가의 비용, 검사자의 전문성, 시간, 공간의 제약, 소량의 방사능 방출 등 통상적으로 사용하기 여러 제한점을 지니고 있다(Goodpaster et al., 2000; Nuttall, 2015; Ross et al., 2000).

3D BodyScanner는 카메라 모듈이 측정자를 360도 회전하면서 3D형태의 신체이미지를 추출하여 신장과 신체 부위별 둘레, 단면적, 체적 등을 측정한다(Bennett et al., 2022). 이는 단 몇 초 동안 사람의 접촉이 없이 측정이 가능하며, 인체에 무해한 광원을 사용하는 장점이 있다(Heymsfield et al., 2018; Jeon et al., 2022). 이러한 장점으로 3D BodyScanner는 스포츠, 피트니스 및 의류 피팅 시장에서 활용되고 있으며(Bennett et al., 2022), 비만을 진단하는 도구로 선행연구에서 제안된 바 있다(Fang et al., 2018; Giachetti et al., 2014). 구체적으로 Jeon et al.(2022) 3D BodyScanner를 활용한 머신러닝기반의 비만 진단 모델을 개발한 연구를 진행하였으며, 이 연구에서 비만진단 정확도 80.0%로 BMI(52.9%), BIA(75.2%) 보다 높은 정확도를 보였다. 또한 Lee et al.(2022)은 3D BodyScanner를 활용한 비만 진단 모형을 개발하였으며 남자는 92.4%, 여자는 84.9%의 정확도를 보고하였다. 이처럼 3D BodyScanner를 통해 추출되는 신체데이터를 활용하여 비만을 진단하는 연구는 진행되고 있지만, 대부분의 사전연구는 머신러닝을 기반으로 한 모델 개발 연구로 정확도 측면에서 언급되어 있을 뿐 신체데이터 중 어떠한 변수가 비만과 밀접한 관련이 있는지 변수별 진단 기준에 대해서 논의된 사실은 없었다.

특히, 3D BodyScanner를 통해 추출되는 신체 데이터 중 Body Volume Index (BVI)는 비만을 진단하는데 유용한 지표로 활용할 수 있다. Tahrani et al.(2008)은 BVI와 BMI, Waist Circumference (WC)간의 상관분석 결과 통계적으로 유의한 상관이 나타났으며, BVI는 BMI와 장비로 측정되는 WC보다 전문가가 측정한 WC와의 상관이 가장 높다고 보고하였다. 이는 BVI는 3D BodyScanner 장비를 통해 추출되기 때문에 측정자의 의존자가 낮으며, 재현율 또한 높아 유용한 방법으로 제시되고 있다(Peterson et al., 2017; Tahrani et al., 2008). 따라서 이 연구의 목적은 3D BodyScanner를 통해 추출되는 신체부위별 BVI를 활용하여 비만 진단 기준 설정하는 것이다.

연구방법

연구대상

이 연구에서 샘플 사이즈를 선정하기 G*Power 3 프로그램을 활용하였다(Erdfelder et al., 2007). 구체적으로 효과크기 (ES)와 제 1종

오류(α)를 범할 확률, 통계적 검증력($1-\beta$)은 각각 ES=0.5, $\alpha=0.05$, $1-\beta=0.95$ 로 설정하였을 때 요구되는 샘플 사이즈는 210명이며, 이 연구에서는 측정 중 이탈하는 대상자를 고려하여 225명을 연구대상자를 모집하였다. 연구대상의 모집기준은 BMI를 기준으로 저체중, 정상체중, 과체중, 비만집단을 균등하게 모집하였으며, DEXA (Dual Energy X-ray Absorptiometry) 측정 시 노출되는 소량의 방사선에 대하여 임신부 또는 임신을 계획하고 있는 여성과 거동이 불편한 사람들을 연구대상에서 제외하였다.

이 연구는 헬싱키 선언 지침에 따라 수행되었으며 한국체육대학교 윤리심의위원회의 승인을 받았다(연구윤리번호: 1263-202204-HR-015-01). 모든 연구참가자는 자발적으로 참여하였으며, 연구목적과 내용에 대한 설명을 듣고 개인 정보 보호 및 정보 관리 정책에 관한 서면 동의하였다. 연구대상의 특상은 다음 <Table 1>과 같다.

측정도구 및 측정변인

체지방률을 측정하기 위해 DEXA 장비 (Model Lunar Prodigy, GE Healthcare)를 사용하였으며, DEXA를 통해 얻어진 체지방률은 American council on exercise의 기준(male: 25% and higher - obese, female: 32% and higher - obese)에 따른 비만과 정상으로 분류하였다. 체지방률을 근거로 비만여부를 분류한 결과 남자는 비만 53명, 정상 66명이며, 여자는 비만 58명, 정상 48명이다.

신체부위별 BVI는 측정하기 위해 3D BodyScanner 장비(Model PFS-304, PMTinnovation)를 사용하였으며, 측정오차를 줄이기

Table 1. Characteristic subjects (Mean \pm SD)

gender	age (yr)	height (cm)	weight (kg)	BMI(kg/m ²)
male (n=119)	38.9 \pm 18.7	175.3 \pm 7.0	77.0 \pm 12.9	25.0 \pm 3.5
female (n=106)	42.1 \pm 19.5	163.4 \pm 6.4	60.7 \pm 10.8	22.7 \pm 4.0
total (n=225)	40.4 \pm 19.1	169.7 \pm 9.0	69.3 \pm 14.5	23.9 \pm 3.9

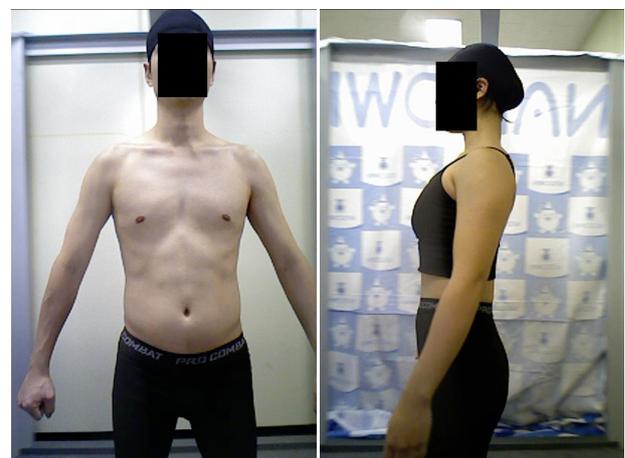


Fig. 1. 3D BodyScanner measurement

위해 남성은 상의 탈의와 스포츠 타이즈, 여성은 스포츠 탑(속옷)과 스포츠 타이즈를 착용하고 측정 시 뒷목점이 노출되어야 함으로 수모를 착용하였다. 3D BodyScanner를 통해 측정되는 신체부위별 BVI는 8가지이다(shoulder body volume, chest body volume, upper abdominal body volume, lower abdominal body volume, total abdominal body volume, thigh body volume, calf body volume, total body volume). 모든 측정 전 전문가에게 안전교육 및 사용방법에 대해 교육을 받고 장비에 대하여 충분히 숙지한 전문 측정원이 측정하였으며 신체 모든 부위별 BVI의 단위는 ℓ로 측정하였다.

자료처리

비만여부에 따른 신체부위별 BVI를 비교하기 위해 독립표본 t검증을 실시하였으며 효과크기는 cohen's d로 산출하였다. 또한, 비만 진단 기준을 설정하기 위해 ROC(Receiver Operating Characteristic) 분석을 실시하였다. ROC분석은 AUC(Area Under the Curve)를 산출하였으며, Youden's J 지수에 의한 optimal cut-point를 산출하였다. AUC는 ROC 곡선에서 곡선 아래에 있는 면적을 의미하며, 1에 가까울수록 우수한 변별력을 가지는 것을 의미한다. AUC의 평가기준은 0.9-1=excellent, 0.8-0.9=very good, 0.7-0.8=good, 0.6-0.7=sufficient, 0.5-0.6=bad, 0.5≤not useful이다(Šimundić, 2009). 또한, cut-point에 타당도를 확인하기 위해 Sensitivity, Specificity, Accuracy, BCR(Balanced Classification

Rate), F1-score(harmonic mean of recall and precision) 값을 산출하였다. Specificity, Accuracy, BCR, F1-score 산출공식은 다음 (Figure 2)와 같다.

F1-score는 Preceision과 Recall의 일반적인 평균이 아닌 조화평균을 나타내는 값으로 Precision은 TP/(TP+FP)로 산출하며, Recall은 Sensitivity와 같은 방법(TP/(TP+FN))으로 산출된다. 모든 분석은 Excel Ver 2013과 IBM SPSS Ver 25.0을 활용하였으며, 모든 통계적 유의수준은 .05로 설정하였다.

연구결과

비만여부에 따른 신체부위별 BVI 비교

비만여부에 따른 신체부위별 BVI 비교한 결과, 8개의 모든 body volume에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며, 비만이 정상집단보다 body volume이 더 높은 것으로 나타났다.

비만 진단 기준 설정(ROC 분석)

비만 진단 기준 설정을 위해 ROC분석을 실시하였으며, ROC분석의 AUC의 결과는 다음 (Table 2)와 같다. 남자는 total abdominal body volume에서 가장 높은 AUC값 (0.940)이 나타났으며, 여자는 lower abdominal body volume에서 가장 높은 AUC값 (0.878)이 나타났다. 반면, 남자와 여자 모두 thigh body volume에서 가장 낮은 AUC값 (남자 = 0.651, 여자 = 0.612)이 나타났다.

비만 진단 기준 설정을 위해 Youden's J 지수에 의한 Otimal Cut-Point를 산출한 결과 다음 (Table 3)과 같다. 남자의 경우 shoulder는 7.96, chest는 9.79, upper abdominal는 7.15, lower abdominal는 7.71, total abdominal는 14.89, thigh는 9.79, calf 는 5.70, total body volume는 74.96으로 나타났다. 여자의 경우 shoulder는 6.04, chest는 9.82, upper abdominal는 4.96, lower abdominal는 6.23, total abdominal는 11.63, thigh는 8.88, calf 는 4.05, total body volume는 58.15로 나타났다.

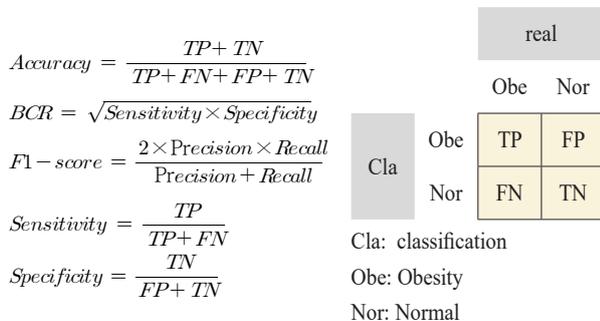


Fig. 2. Validity index calculation formula

Table 2. Verification of volume differences by body part according to obesity

gender	Variable	Obesity(ℓ) (M±SD)	normal(ℓ) (M±SD)	t	p	d	gender	Variable	Obesity(ℓ) (M±SD)	normal(ℓ) (M±SD)	t	p	d
male	A	9.2±1.62	7.6±1.44	5.737	<0.001	1.051	female	A	7.3±1.46	5.7±1.11	6.463	<0.001	1.218
	B	11.0±1.28	9.0±1.24	8.629	<0.001	1.590		B	11.2±2.05	8.7±1.41	7.074	<0.001	1.397
	C	8.2±1.19	6.0±0.98	11.305	<0.001	2.040		C	6.2±1.44	4.4±0.89	7.881	<0.001	1.472
	D	8.8±1.02	6.8±0.94	11.263	<0.001	2.048		D	7.4±1.43	5.6±0.86	8.092	<0.001	1.492
	E	17.0±2.17	12.7±1.86	11.587	<0.001	2.146		E	13.6±2.85	10.0±1.71	8.109	<0.001	1.498
	F	10.7±2.04	9.8±2.29	2.352	.019	0.412		F	9.2±1.92	8.5±2.04	1.985	0.05	0.354
	G	5.7±1.02	4.9±0.80	5.178	<0.001	0.885		G	4.4±0.76	4.0±0.79	2.828	<0.001	0.517
	H	86.2±10.88	71.4±9.53	7.885	<0.001	1.458		H	68.7±10.32	57.6±8.00	6.106	<0.001	1.188

A: shoulder, B: chest, C: upper abdominal, D: lower abdominal, E: total abdominal, F: thigh, G: calf, H: total body

Table 3. AUC of body volume by body part for obesity classification

gender	Variable	AUC	SE	p	95% CI		gender	Variable	AUC	SE	p	95% CI	
					Lo	Up						Lo	Up
male	A	0.760	0.043	<.001	0.675	0.844	female	A	0.824	0.040	<.001	0.746	0.903
	B	0.875	0.031	<.001	0.813	0.937		B	0.859	0.036	<.001	0.789	0.930
	C	0.937	0.021	<.001	0.895	0.978		C	0.870	0.033	<.001	0.805	0.935
	D	0.934	0.023	<.001	0.889	0.979		D	0.878	0.032	<.001	0.815	0.940
	E	0.940	0.021	<.001	0.899	0.981		E	0.877	0.032	<.001	0.814	0.940
	F	0.651	0.050	0.005	0.552	0.750		F	0.612	0.055	0.048	0.503	0.720
	G	0.745	0.046	<.001	0.656	0.834		G	0.645	0.054	0.010	0.538	0.752
	H	0.849	0.034	<.001	0.782	0.916		H	0.809	0.042	<.001	0.726	0.892

A: shoulder, B: chest, C: upper abdominal, D: lower abdominal, E: total abdominal, F: thigh, G: calf, H: total body

Table 4. Optimal cut-point and validity by Youden's J index

gender	Variable	Youden's J	Cut-Point(ℓ)	Sensitivity	Specificity	BCR	Accuracy	F1-score
male	A	0.402	7.96	0.811	0.591	0.692	0.689	0.699
	B	0.652	9.79	0.849	0.803	0.826	0.824	0.811
	C	0.743	7.15	0.849	0.894	0.871	0.874	0.857
	D	0.766	7.71	0.887	0.879	0.883	0.882	0.870
	E	0.743	14.89	0.849	0.894	0.871	0.874	0.857
	F	0.274	9.79	0.698	0.576	0.634	0.630	0.627
	G	0.392	5.70	0.528	0.864	0.675	0.714	0.622
	H	0.546	74.96	0.849	0.697	0.769	0.765	0.763
female	A	0.542	6.04	0.897	0.646	0.761	0.783	0.819
	B	0.588	9.82	0.776	0.813	0.794	0.792	0.804
	C	0.578	4.96	0.828	0.750	0.788	0.792	0.814
	D	0.595	6.23	0.845	0.750	0.796	0.802	0.824
	E	0.613	11.63	0.759	0.854	0.805	0.802	0.808
	F	0.239	8.88	0.552	0.688	0.616	0.613	0.610
	G	0.242	4.05	0.638	0.604	0.621	0.623	0.649
	H	0.539	58.15	0.914	0.625	0.756	0.783	0.822

A: shoulder, B: chest, C: upper abdominal, D: lower abdominal, E: total abdominal, F: thigh, G: calf, H: total body

논의

비만여부에 따른 신체부위별 BVI를 비교한 결과와 ROC분석의 AUC값을 종합적으로 보면, 남자는 total abdominal body volume에서 effect size와 AUC값이 가장 높게 나타났다. 이는 남자의 경우 비만을 진단하는데 있어 total abdominal body volume가 가장 변별력 있는 지표라 판단된다. 여자는 total abdominal body volume에서 effect size가 가장 높게 나타난 반면 AUC값은 lower abdominal에서 가장 높게 나타났다. 그러나 total abdominal body volume와 lower abdominal의 effect size와 AUC값이 큰 차이가 나타나지 않아 두 변인 모두 비만을 진단하는데 있어 변별력이 있는 지표라 판단된다. 6355명을 대상으로 BMI, WC, waist-to-

height ratio (WHtR) and waist-to-hip ratio (WHR)와 심혈관 위험과 사망률 관계에 따르면, WHtR, WC, WHR, BMI순으로 관련성이 높은 것으로 나타났으며(Pischon et al., 2008), 많은 연구에서 비만을 진단함에 있어 BMI보다 복부관련 지수가 효과적이라고 보고하고 있다(Ashwell et al., 2012; Browning et al., 2010; Lee et al., 2008; Savva et al., 2013). 이 연구에서도 남녀 모두 복부관련 변수가 다른 변수에 비해 effect size와 AUC값이 높게 나타나 복부의 체적이 다른 부위의 체적보다 비만을 진단하는데 유용한 변인이라 판단된다.

그동안 비만을 진단하기 위해 BMI, WC, WHR, WHtR에 대한 Optimal Cut-Point를 산출한 연구들은 많이 진행되어 왔다(Oh, 2011; Park et al., 2018; Seo et al., 2009; Shao et al., 2010). 한

국인을 대상으로 한 BMI, WC, WtHR Optimal Cut-Point의 민감도와 특이도를 살펴보면, 약 0.6~0.8 범위를 가지고 있으며(Park et al., 2018; Seo et al., 2009), 같은 아시아계인 중국인을 대상으로 한 연구의 민감도와 특이도도 비슷한 범위를 나타냈다 (Shao et al., 2010). 이 연구에서 신체부위별 body volume Optimal Cut-Point의 민감도와 특이도의 범위는 약 0.6~0.9로 나타나 사전연구의 비슷한 결과를 나타냈다. 특히, 복부관련 body volume Optimal Cut-Point의 Accuracy는 0.8 이상으로 높은 정확도를 나타낸 반면, thigh, calf의 정확도는 약 0.6 정도를 나타나 비교적 낮은 정확도를 나타냈다. 이는 신체부위 중 비만을 진단하기 위한 부위는 복부와 밀접한 관련이 있는 것으로 판단이 되면 WtHR과 WC가 BMI보다 높은 분류정확도를 보인다는 사전연구의 결과와 일치한다(Park et al., 2018; Seo et al., 2008).

비만을 진단하기 위해 BMI, WC, WHR, WHtR에 대한 Optimal Cut-Point를 산출한 연구들에 비해 BVI와 관련된 연구물은 수행되지 않았다. 이는 BMI, WC, WHR, WHtR는 신장, 몸무게, 허리둘레, 엉덩이둘레만을 가지고 산출해 낼 수 있는 반면, BVI는 특정 장비를 통해 측정이 가능하였기 때문이다. 이러한 측면에서 BVI가 효율성 측면에서 단점을 있을 수도 있다. 그러나 최근 과학기술의 발전으로 인해 비교적 간편한 장비를 통해 신체부위별 BVI를 산출해 낼 수 있게 되었으며 3D BodyScanner를 통한 인체측정 연구가 활발히 이루어지고 있다(Medina-Inojosa et al., 2016, 2017; Silver & Wilson, 2020). 따라서 이 연구의 결과는 3D BodyScanner를 통해 얻어진 BVI의 값으로 비만을 진단하기 위한 Optimal Cut-Point를 산출하였다는 점에서 의미가 있을 것이다.

그러나 이 연구에서 제시한 신체부위별 Cut-Point는 일반화될 수 없을 것이다. 이는 Cut-Point는 인종과 연령에 따라서 차이가 나타날 수 있기 때문이다. 아시아인은 서양인에 비해 동일한 BMI와 WC에 불구하고 높은 체지방률을 보이고 있기(Hyun et al., 2008; Li et al., 2008) 때문에 인종에 따라서 비만을 진단하는 기준이 다르며, 이와 비슷한 이유로 연령에 Cut-Point는 달라져야 하기 때문이다. 이 연구는 성인 한국인을 대상으로 하였기 때문에 아시안계의 성인에 한정되어 Cut-Point를 활용할 수 있을 것이며, 추후 연구에서는 다양한 대상으로 연구가 진행되어야 할 것이다.

결론

이 연구에서는 8개의 BVI에서 비만이 정상집단보다 높은 것으로 나타났다으며, Optimal Cut-Point의 정확도는 0.6~0.9로 나타났다. 신체부위별 BVI Optimal Cut-Point는 남자의 경우 shoulder는 7.96, chest는 9.79, upper abdominal는 7.15, lower abdominal는 7.71, total abdominal는 14.89, thigh는 9.79, calf는 5.70, total body volume는 74.96이며, 여자의 경우 shoulder는 6.04, chest는 9.82, upper abdominal는 4.96, lower abdominal는 6.23, total abdominal는 11.63, thigh는 8.88, calf는 4.05, total body volume는 58.15이다. 이러한 결과는 인종이나 연령에 따라 차이가 나타날 수 있기 때문에 성인 아시아인에 한정하여 적용이 가능하다.

CONFLICT OF INTEREST

논문 작성에 있어서 어떠한 조직으로부터 재정을 포함한 일체의 지원을 받지 않았으며 논문에 영향을 미칠 수 있는 어떠한 관계도 없음을 밝힌다.

AUTHOR CONTRIBUTION

Conceptualization: HJ Yun, J Yoon, Data curation: HJ Yun, J Yoon, Formal analysis: HJ Yun, M Jeon, Methodology: HJ Yun, M Jeon, Projectadministration: HJ Yun, J Yoon, Visualization: M Jeon, Writing-original draft: HJ Yun, M Jeon, Writing-review&editing: J Yoon, M Jeon

참고문헌

- ACSM (American College of Sports Medicine). (2022). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription* (11th ed.). Philadelphia, PA: Wolters Kluwer.
- Ashwell, M., Gunn, P., & Gibson, S. (2012). Waist-to-height ratio is a better screening tool than waist circumference and BMI for adult cardiometabolic risk factors: Systematic review and meta-analysis. *Obesity Reviews*, 13(3), 275-286.
- Bennett, J. P., Liu, Y. E., Quon, B. K., Kelly, N. N., Wong, M. C., Kennedy, S. F., ... & Shepherd, J. A. (2022). Assessment of clinical measures of total and regional body composition from a commercial 3-dimensional optical body scanner. *Clinical Nutrition*, 41(1), 211-218.
- Blüher, M. (2019). Obesity: Global epidemiology and pathogenesis. *Nature Reviews Endocrinology*, 15(5), 288-298.
- Browning, L. M., Hsieh, S. D., & Ashwell, M. (2010). A systematic review of waist-to-height ratio as a screening tool for the prediction of cardiovascular disease and diabetes: 0.5 could be a suitable global boundary value. *Nutrition Research Reviews*, 23(2), 247-269.
- Burkhauser, R. V., & Cawley, J. (2008). Beyond BMI: The value of more accurate measures of fatness and obesity in social science research. *Journal of Health Economics*, 27(2), 519-529.
- Fang, H., Berg, E., Cheng, X., & Shen, W. (2018). How to best assess abdominal obesity. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 21(5), 360-365.
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G* Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior research methods*, 39(2), 175-191.
- Giachetti, A., Lovato, C., Piscitelli, F., Milanese, C., & Zancanaro, C. (2014). Robust automatic measurement of 3 D scanned models for the human body fat estimation. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 19(2), 660-667.
- Goodpaster, B. H., Thaete, F. L., & Kelley, D. E. (2000). Composition of skeletal muscle evaluated with computed tomography. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 904(1), 18-24.
- Heymisfield, S. B., Bourgeois, B., Ng, B. K., Sommer, M. J., Li, X., & Shepherd, J. A. (2018). Digital anthropometry: A critical review. *European Journal of Clinical Nutrition*, 72(5), 680-687.
- Hyun, Y. J., Kim, O. Y., Jang, Y., Ha, J.-W., Chae, J. S., Kim, J. Y., ... & Lee, J. H. (2008). Evaluation of metabolic syndrome risk in Korean premenopausal women: Not waist circumference but visceral fat. *Circulation Journal*, 72(8), 1308-1315.
- Jackson, A. S., Pollock, M. L., & Ward, A. (1980). Generalized equations for predicting body density of women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12(3), 175-181.
- Jeon, S., Kim, M., Yoon, J., Lee, S., & Youm, S. (2023). Machine learning-based obesity classification considering 3D body scanner measurements. *Scientific Reports*, 13(1), 3299.
- Lambert, B. S., Oliver, J. M., Katts, G. R., Green, J. S., Martin, S. E., & Crouse, S. F. (2012). DEXA or BMI: Clinical considerations for evaluating obesity in collegiate division I-A American football athletes. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 22(5), 436-438.
- Lee, C. M. Y., Huxley, R. R., Wildman, R. P., & Woodward, M. (2008). Indices of abdominal obesity are better discriminators of cardiovascular risk factors than BMI: A meta-analysis. *Journal of Clinical Epidemiology*, 61(7), 646-653.
- Li, R., Lu, W., Jia, J., Zhang, S., Shi, L., Li, Y., ... & Kan, H. (2008). Relationships between indices of obesity and its cardiovascular comorbidities in a Chinese population. *Circulation Journal*, 72(6), 973-978.
- Lohman, T. G. (1981). Skinfolts and body density and their relation to body fatness: A review. *Human Biology*, 53(2), 181-225.
- Lohman, T. G., Pollock, M. L., Slaughter, M. H., Brandon, L. J., & Boileau, R. A. (1984). Methodological factors and the prediction of body fat in female athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 16(1), 92-96.
- Medina-Inojosa, J., Somers, V. K., Ngwa, T., Hinshaw, L., & Lopez-Jimenez, F. (2016). Reliability of a 3D body scanner for anthropometric measurements of central obesity. *Obesity, Open Access*, 2(3), 10.16966/2380-5528.122.
- Medina-Inojosa, J., Somers, V., Jenkins, S., Zundel, J., Johnson, L., Grimes, C., & Lopez-Jimenez, F. (2017). Validation of a white-light 3D body volume scanner to assess body composition. *Obesity, Open Access*, 3(1), 10.16966/2380-5528.127.
- Nam, G. E., Kim, Y.-H., Han, K., Jung, J.-H., Rhee, E.-J., Lee, S.-S., ... & Lee, W.-Y. (2020). Obesity fact sheet in Korea, 2019: Prevalence of obesity and abdominal obesity from 2009 to 2018 and social factors. *Journal of Obesity & Metabolic Syndrome*, 29(2), 124-132.
- Nuttall, F. Q. (2015). Body Mass Index: Obesity, BMI, and health: A critical review. *Nutrition Today*, 50(3), 117-128.
- Lee, S. Y., Park, J. H., Kim, D. G., Lee, H. G., & Yoon, J. W. (2022). The Classification Validity of Obese Body Shapes using 3D Body Data. *Korean journal of physical education*, 61(6), 515-527.
- O'Brien, C., Young, A. J., & Sawka, M. N. (2002). Bioelectrical impedance to estimate changes in hydration status. *International journal of sports medicine*, 23(05), 361-366.
- Oh, S. W. (2011). Obesity and metabolic syndrome in Korea. *Diabetes & Metabolism Journal*, 35(6), 561-566.
- Park, H. J., Hong, Y. H., Cho, Y. J., Lee, J. E., Yun, J. M., Kwon, H., & Kim, S. H. (2018). Trends and cut-point changes in obesity parameters by age groups considering metabolic syndrome. *Journal of Korean Medical Science*, 33(7), e47.
- Park, H.-Y., Jung, W.-S., Kim, J., Hwang, H., & Lim, K. (2020). Twelve weeks of aerobic exercise at the lactate threshold improves autonomic nervous system function, body composition, and aerobic performance in women with obesity. *Journal of Obesity & Metabolic Syndrome*, 29(1), 67-75.

- Peterson, C. M., Su, H., Thomas, D. M., Heo, M., Golnabi, A. H., Pietrobelli, A., & Heymsfield, S. B. (2017). Tri-ponderal mass index vs Body Mass Index in estimating body fat during adolescence. *JAMA Pediatrics*, 171(7), 629-636.
- Pischon, T., Boeing, H., Hoffmann, K., Bergmann, M., Schulze, M. B., Overvad, K., ... & Riboli, E. (2008). General and abdominal adiposity and risk of death in Europe. *The New England Journal of Medicine*, 359(20), 2105-2120.
- Prentice, A. M., & Jebb, S. A. (2001). Beyond Body Mass Index. *Obesity Reviews*, 2(3), 141-147.
- Romero-Corral, A., Somers, V. K., Sierra-Johnson, J., Thomas, R. J., Collazo-Clavell, M. L., Korinek, J., ... & Lopez-Jimenez, F. (2008). Accuracy of Body Mass Index in diagnosing obesity in the adult general population. *International Journal of Obesity*, 32(6), 959-966.
- Ross, R., Goodpaster, B., Kelley, D., & Boada, F. (2000). Magnetic resonance imaging in human body composition research: From quantitative to qualitative tissue measurement. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 904(1), 12-17.
- Rothman, K. J. (2008). BMI-related errors in the measurement of obesity. *International Journal of Obesity*, 32(3), S56-S59.
- Savva, S. C., Lamnisos, D., & Kafatos, A. G. (2013). Predicting cardiometabolic risk: Waist-to-height ratio or BMI. A meta-analysis. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity*, 6, 403-419.
- Segal, K. R., Gutin, B., Presta, E., Wang, J., & Van Itallie, T. B. (1985). Estimation of human body composition by electrical impedance methods : a comparative study. *Journal of applied physiology*, 58(5), 1565-1571.
- Seo, J. A., Kim, B. G., Cho, H., Kim, H. S., Park, J., Baik, S. H., ... & Kim, N. H. (2009). The cutoff values of visceral fat area and waist circumference for identifying subjects at risk for metabolic syndrome in elderly Korean: Ansan Geriatric (AGE) cohort study. *BMC Public Health*, 9, 443.
- Shao, J., Yu, L., Shen, X., Li, D., & Wang, K. (2010). Waist-to-height ratio, an optimal predictor for obesity and metabolic syndrome in Chinese adults. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 14(9), 782-785.
- Silver, B., & Wilson, P. B. (2020). Reliability and minimal detectable change of the Styku 3D body scanner. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 24(3), 165-171.
- Šimundić, A.-M. (2009). Measures of diagnostic accuracy: Basic definitions. *eJIFCC*, 19(4), 203-211.
- Smit, H. J., Handoko, M. L., Noordegraaf, A. V., Faes, T. J., Postmus, P. E., de Vries, P. M. J. M., & Boonstra, A. (2003). Electrical impedance tomography to measure pulmonary perfusion: is the reproducibility high enough for clinical practice?. *Physiological measurement*, 24(2), 491.
- Tahrani, A., Boelaert, K., Barnes, R., Palin, S., Field, A., Redmayne, H., ... & Rahim, A. (2008). Body Volume Index: Time to replace Body Mass Index? *Endocrine Abstracts*, 15, P104.
- Watts, K., Naylor, L. H., Davis, E. A., Jones, T. W., Beeson, B., Bettenay, F., ... & Green, D. J. (2006). Do skinfolds accurately assess changes in body fat in obese children and adolescents? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(3), 439-444.
- WHO (World Health Organization). (2021). Obesity and overweight. Retrieved from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>

3D BodyScanner의 Body Volume Index를 활용한 비만 진단 준거기준 설정

유효준¹, 윤지운², 전민수³

¹한국체육대학교, 학술연구교수

²한국체육대학교, 교수

³단국대학교, 교수

[목적] 이 연구는 3D BodyScanner을 통해 추출되는 신체부위별 Body volume index를 활용하여 비만 진단 기준 설정하는 것이 목적이다.

[방법] DEXA(Dual Energy X-ray Absorptiometer)를 이용하여 225명의 참가자(남성=119, 여성=106)를 대상으로 체지방률을 측정하였고, 3D BodyScanner를 이용하여 신체 8개 부위에 대한 BVI를 측정하였다. 분석 방법으로는 독립 t-검정과 ROC(Receiver Operating Characteristic) 분석을 실시하였다. ROC 분석은 AUC(Area Under the Curve)를 계산하고 Youden의 J 지수를 통해 최적의 cut-point를 산출하였다. 또한 최적의 cut-point의 타당도를 확인하기 위해 분류정확률, 민감도, 특이도, BCR, F1-Score를 산출하였다.

[결과] 남성과 여성 모두 비만 여부에 따라 신체 부위별 BVI에 통계적으로 유의한 차이가 있었으며 비만군이 정상군에 비해 높은 것으로 나타났다. 남자의 경우 비만 진단을 위한 신체 부위별 최적 cut-point는 어깨 7.96, 가슴 9.79, 상복부 7.15, 하복부 7.71, 전체 복부 14.89, 허벅지 9.79, 종아리 5.70, 전체 체적 74.96로 나타났다. 여자는 어깨 6.04, 가슴 9.82, 상복부 4.96, 하복부 6.23, 복부 전체 11.63, 허벅지 8.88, 종아리 4.05, 전체 체적 58.15로 나타났으며, 전체적인 정확도는 0.6~0.9로 나타났다.

[결론] 이 연구를 통해 BVI는 비만을 진단하는데 유용한 지표로 활용될 수 있음 확인하였으며 준거기준도 제시하였다. 다만, 인종이나 연령에 따라 차이가 있을 수 있으므로 아시아 성인에게만 적용이 가능하다.

주요어

비만, BVI(Body Volume Index), 3D BodyScanner, 준거기준