

지속성 외래 복막투석 환자의 제지방무게 측정법의 비교

연세대학교 의과대학 내과학교실, 신장질환연구소

박형천 · 이인희 · 권건호 · 노현진 · 강신욱 · 최규현 · 이호영 · 한대석

연세대학교 생활과학대학 식품영양학과

신민정 · 윤지영 · 이종호

〈요 약〉

지속성 외래 복막투석(continuous ambulatory peritoneal dialysis, 이하 CAPD로 약함) 치료를 받는 환자들은 단백질 대사 장애에 기인한 체내 이화작용의 증가, 동반된 요독증과 각종 질환, 및 불충분한 투석에 기인한 식욕 감퇴 등 다양한 원인으로 영양실조 상태에 놓이게 된다. 영양실조는 제지방무게(lean body mass, 이하 LBM로 약함)의 감소를 가져오며, 이러한 LBM은 식이 단백질 섭취의 종합적인 결과로 투석환자에서 장기간의 영양상태에 대한 중요한 지표로 작용한다. CAPD 환자는 투석 기간이 증가될수록 투석액을 통한 당의 흡수와 이로 인한 체중 증가로 단백질 열량 영양실조 및 LBM의 감소를 발견하기 용이하지 않아 규칙적인 영양상태의 평가가 중요하다. 주기적인 LBM 측정이 보편적으로 실시되지 않고 있고 아직까지 임상에서 쉽게 이용할 수 있는 LBM 측정 도구가 개발되어 있지 않은 현실에서 인체계측법을 이용한 규칙적인 LBM의 평가는 CAPD 환자군에서의 영양상태에 대한 중요한 정보를 제공할 수 있을 것이다. 현재 정상 대조군과 투석환자군에서 LBM을 측정하는데 이중 에너지 방사선 촬영술(dual energy X-ray absorptiometry, 이하 DEXA로 약함)이 정확성이 높다고 알려져 있으나 고가의 장비와 비용으로 인해 아직까지 임상에서 쉽게 이용할 수 없다. 이에 연구자는 연세대학교 의과대학 세브란스 병원에서 최소한 3개월 이상 복막투석 치료를 받고 있는 환자중 임상적으로 안정된 환자들을 대상으로 DEXA와 인체계측법(anthropometry), 임피던스 측정법(bioelectrical impedance analysis), 적외선 측정법(infrared interactance) 및 크레아티닌 동력학(creatinine kinetics) 방법으로 측정한 LBM을 비교하여 DEXA로 측정된 LBM과 가장 상관관계가 높고 임상에서 쉽게 활용할 수 있는 측정법을 알아보고자 하였다.

1) 대상 환자 30명의 성별 분포는 남자와 여자가 각각 15명이었으며 평균 투석 기간은 35.5개월이었고 원인 질환으로는 만성 사구체신염이 16명(53.3%)으로 가장 많았다.

2) 평균 혈청 알부민 농도는 3.9 ± 0.5 (mean \pm standard deviation) g/dl, 표준화 단백질 이화율은 0.98 ± 0.16 g/kg/day, 그리고 Weekly KT/Vurea 및 표준 크레아티닌 청소율은 각각 2.08 ± 0.34 , 65.81 ± 22.1 l/week/1.73m²이었다.

3) DEXA에 의한 LBM과 다른 네가지 방법에 의한 LBM 사이에는 모두 통계적으로 유의있는 양의 상관관계가 있었으며, 이중에서도 인체계측법을 이용한 경우와 가장 밀접한 상관관계가 있었다($r=0.899$, $p<0.05$).

4) 전체 체중에 대한 LBM의 비(%LBM)도 네가지 방법 모두에서 DEXA에 의한 %LBM과 통계적으로 유의있는 양의 상관관계가 있었으며, 역시 인체계측법을 이용한 경우가 DEXA와 가장 밀접한 상관관계가 있었다($r=0.908$, $p<0.05$).

* 본 연구는 1996년도 연세대학교 의과대학과별 프로젝트 연구비에 의하여 이루어졌음.

5) 인체계측법에 의한 LBM은 평균 예측오차가 -0.241, root mean squared prediction error가 2.716으로 다른 세가지 방법에 비해 가장 낮았다.

6) DEXA와 인체계측법에 의한 LBM과 혈청 알부민, 표준화 단백질 이화율, KT/Vurea 및 표준 크레아티닌 청소율 사이엔 유의있는 상관관계가 없었다.

이상의 결과로 임상적으로 안정된 CAPD 환자에서 인체계측법은 DEXA로 측정된 LBM을 상기 4가지 방법 가운데 가장 잘 반영함을 관찰할 수 있었다. 따라서 임상에서 인체계측법을 이용한 정기적인 LBM 측정은 CAPD 환자의 영양상태 평가와 투석의 적절도 평가에 큰 도움을 줄 것으로 사료된다. 또한 LBM과 혈청 알부민, 표준화 단백질 이화율, KT/Vurea 및 표준 크레아티닌 청소율 사이의 정확한 상관관계의 확인을 위해서는 보다 장기간에 걸친 전향적인 연구가 요구된다.

서 론

말기 신부전 환자에서 영양실조는 흔히 동반되는 것으로 알려져 있으며, 이들 환자의 이환률 및 사망률과 높은 상관관계가 있다¹⁾. 여러 연구에 의하면 혈액 투석 치료를 받고 있는 환자들 중 10-30%에서 이상 체중에 대한 체중 비율이 감소되어 있었고, 13-70%에서 혈청 알부민 농도가 감소되어 있었으며²⁻⁴⁾, 이는 환자의 사망률과 밀접한 관련이 있었다²⁾. 지속성 외래 복막투석(continuous ambulatory peritoneal dialysis, 이하 CAPD) 치료를 받는 환자들의 경우 혈액 투석 환자들보다 영양 실조의 빈도가 높았고⁵⁾, 약 40%가 영양 실조 상태에 있는 것으로 보고되고 있다⁶⁻⁸⁾.

임상에서 영양상태 평가 방법으로 흔히 사용되는 지표로는 신장, 체중, 인체계측 조사, 생화학적 지표 등이 있다¹⁾. 그러나 요독증에 따른 신체대사의 비정상적인 변화가 존재하는 만성 신부전 환자의 영양관정에 이러한 지표들을 그대로 적용하기에는 무리한 점이 많다⁹⁾. 식이 단백질 섭취량 또는 총요소 생성에 따른 단백질량(protein equivalent of total nitrogen appearance) 등은 일일 단백질 섭취량에 대해 중요한 정보를 제공하고, 체지방무게(lean body mass, 이하 LBM로 약함)는 식이 단백질 섭취의 종합적인 결과로 장기간의 영양상태에 대한 중요한 지표로 작용한다¹⁰⁾.

¹¹⁾ LBM의 감소는 부적절한 투석 또는 부족한 식이 섭취를 반영하고¹⁾, 영양실조에 따른 이차적인 LBM의 30-50% 이상의 감소는 치명적인 부작용을 초래한다¹²⁾. 그러나 CAPD 환자에서는 투석기간이 증가될수록 투석액을 통한 당분 흡수와 체중 증가로 단백질-열량

영양실조 상태 및 LBM의 감소를 잘 관찰할 수 없다¹³⁾. 따라서 CAPD 환자군에서 정기적인 LBM의 추적은 환자들의 단백질 섭취와 영양상태뿐만 아니라 복막 투석의 적절도 평가에 효과적인 지표로 활용될 수 있다^{1, 11)}.

LBM을 측정할 수 있는 방법에는 총체액(total body water) 측정법, 수중 계량법(hydrodensitometry), 총칼륨(total body potassium) 측정법, 인체계측법(anthropometry), 적외선 측정법(infrared interactance), 임피던스 측정법(bioelectrical impedance analysis), 크레아티닌 동력학(creatinine kinetics)을 응용한 방법, 양광자감마선 측정법(dual photon absorptiometry) 및 이중 에너지 방사선 촬영술(dual energy X-ray absorptiometry, 이하 DEXA로 약함) 등이 있다^{12, 14-16)}. 최근에 개발된 DEXA는 인체 구성을 체지방 무게(fat mass), 연조직 무게(lean soft tissue mass)와 골질량(bone mineral content)으로 구분하여 측정한다. DEXA는 양광자감마선 측정법과 같은 원리를 사용하나 에너지원으로 이중 감마선을 방출하는 Gadolinium¹⁵³ 동위원소 대신 서로 다른 에너지의 X-선을 발생시키는 X-선 발생장치를 사용한다¹⁴⁾. Mazess 등이 1990년에 DEXA를 이용한 인체 구성 측정을 발표한 이후 많은 학자들에 의해 DEXA를 이용한 체지방과 LBM 측정에 대한 논문들이 보고되어 현재 DEXA는 인체 구성, 특히 체지방과 LBM을 측정하는데 높은 정확성을 인정받고 있다. 또한 DEXA는 체지방을 측정하는데 연조직의 생화학적 성분에 크게 영향을 받지 않기에 정상 대조군과는 달리 생화학적 성분과 체내 수분 상태가 일정치 않은 투석 환자군에서 인체 구성을 측

정하는데 가장 적합할 것으로 사료된다^{9,17)}. 그러나 아직까지 비싼 가격 때문에 임상에서 쉽게 사용할 수 없는 단점이 있다.

본 연구는 CAPD 환자에서 임상에서 쉽게 이용할 수 있는 인체계측법, 적외선 측정법, 임피던스 측정법 및 크레아티닌 동력학 방법에 의해 산출된 LBM을 DEXA로 측정된 LBM과 비교하여 DEXA로 측정된 LBM을 가장 잘 반영할 수 있는 방법을 선정함으로써 이들 환자에서 보다 정확한 영양상태의 평가에 기여하고자 본 연구를 시행하였다.

대상 및 방법

1. 대상

연세대학교 의과대학 부속 세브란스 병원에서 말기 신부전증으로 진단받고 최소한 3개월 이상 CAPD 치료를 받고 있는 환자 중에서 최근 1개월간 복막염이 없었던 임상적으로 안정된 CAPD 환자 중 주관적 영양 상태 평가법(subjective global assessment)상 정상 영양군에 속하는 환자 30명을 대상으로 하였다. 만성 신부전증 이외에 급성염증, 당뇨병을 포함한 내분비질환 및 중양 등의 병력이 있는 환자는 연구 대상에서 제외하였다.

2. 방법

1) 요소 동력학 모형(Urea kinetic modeling)

24시간동안 배액된 복막투석액과 소변의 채취와 함께 당일 아침 공복 상태에서 키, 체중을 측정 후 혈액을 채취하여 혈당, 혈청 크레아티닌, 혈중 요소질소, 혈청 알부민, 헤마토크릿을 측정하였다. 24시간동안 배액된 복막투석액과 소변에서 각각의 총 부피, 요소와 크레아티닌의 농도를 구하였다.

Weekly KT/Vurea는 24시간 복막투석을 통한 요소의 청소율(clearance)과 잔여 신 요소 청소율을 합한 수치에 7을 곱하여 구하였으며 요소질소 분포 체액량은 총체액에 해당하며 Watson normogram을 이용하여 성별, 나이, 키, 몸무게로부터 예측된 수치를 이용하였다¹⁸⁾.

표준화 단백질 이화율(normalized protein catabolic rate, 이하 NPCR로 약함)은 Randerson등의 방법에 의한 요소생성율(urea generation rate)로부

터 계산하였고 환자의 건조체중으로 표준화하였다¹⁹⁾(Table 1).

2) 표준 크레아티닌 청소율

표준 크레아티닌 청소율(standardized creatinine clearance, 이하 SCCr로 약함)은 24시간 복막투석을 통한 크레아티닌 청소율과 잔여 신 크레아티닌 청소율을 합한 수치에 7을 곱한 후 표준 체표면적으로 표준화하였다.

3) LBM 측정

LBM의 측정은 환자가 검사 당일 공복상태로 내원하여 복강내의 투석액을 완전히 배액한 후 평균 2시간 후에 각 방법에 따라 측정하였다. 임피던스 LBM 측정은 Biodynamics사의 모델 310 임피던스 측정기(Biodynamics, Inc, Detroit, MI, USA)를 이용하여 측정하였다²⁰⁾. 임피던스 체지방 측정은 인체의 수분 함유량에 근거를 두기 때문에 피검자는 측정시로부터

Table 1. Calculation of RRF, KT/Vurea, NPCR and SCCr

1. RRF(residual renal function, ml/min)
$RRF = [(Ucr/Scr + Uurea/Surea) \times Uvol] / 1440 \times 2$
2. Weekly KT/Vurea = $[(Dun + Uun)/V] \times 7$
K: urea clearance, T: treatment time
Vurea: volume of distribution for urea
$Dun = Dvol \times Durea / BUN$
$Uun = Uvol \times Uurea / BUN$
V: total body water(Watson et al)
3. NPCR(normalized protein catabolic rate, g/kg/day)
$NPCR = PCR / \text{standard weight}$
$PCR(g/day) = 10.76(Gun + 1.46)$
$Gun = (Dvol \times Durea + Uvol \times Uurea) / 1440$
Standard weight = $V / 0.58$
4. SCCr(standardized creatinine clearance, l/week/1.73m ²)
$= [(Dvol \times Dcr) / Scr + (Uvol \times Ucr) / Scr] \times 7 \times 1.73 / BSA$

Ucr: urine creatinine concentration(mg/dl)
 Scr: serum creatinine concentration(mg/dl)
 Uurea: urine urea nitrogenconcentration(mg/dl)
 Durea: dialysate urea nitrogen concentration (mg/dl)
 Uvol: urine volume/day(liter)
 Dvol: drained dialysate volume/day(liter)
 Gun: urea generation rate(mg/min), BSA: body surface area

12시간 전에 음주와 운동을 하지말도록 주의를 주었다. 임피던스 측정은 피검자가 누운 자세에서 측정하며, 오른손과 팔목, 그리고 오른발과 발목 부위를 알코올로 세척한 후 일회용 전극을 부착하고 손등과 발등에 고주파(50kHz) 정전류(1mA)를 계속해서 흘려주고 손목과 발목간의 임피던스를 측정한다. 피검자의 성별, 나이, 체중 등을 입력시키면 약 15초 후에 체지방률(%), 지방무게(kg), LBM(kg) 및 임피던스 값들이 출력된다. 피검자마다 3회 반복 측정후 산술평균을 사용하였다. LBM의 계산은 Segal 등의 공식에 의거하여 임피던스 측정기를 통해 산출되었다²¹⁾.

Table 2. Anthropometric Measurements

Skinfold thickness by Lange caliper	
Body density(D) calculation by age and sex adjusted equations (Durnin 및 Womersley, 1974)	
Equations for men:	
Age range	
17-19	$D=1.1620-0.0630 \times \log(\text{sum of four skinfold thickness})$
20-29	$D=1.1631-0.0632 \times \log(\text{sum of four skinfold thickness})$
30-39	$D=1.1422-0.0544 \times \log(\text{sum of four skinfold thickness})$
40-49	$D=1.1620-0.0700 \times \log(\text{sum of four skinfold thickness})$
50-	$D=1.1715-0.0779 \times \log(\text{sum of four skinfold thickness})$
Equations for women:	
Age range	
17-19	$D=1.1549-0.0678 \times \log(\text{sum of four skinfold thickness})$
20-29	$D=1.1599-0.0717 \times \log(\text{sum of four skinfold thickness})$
30-39	$D=1.1423-0.0632 \times \log(\text{sum of four skinfold thickness})$
40-49	$D=1.1333-0.0612 \times \log(\text{sum of four skinfold thickness})$
50-	$D=1.1339-0.0645 \times \log(\text{sum of four skinfold thickness})$
Percentage body fat calculation by Siri's equation(Siri, 1961)	
men:	$\%fat = (4.95/\text{density} - 4.50) \times 100$
women(Lohman, 1986)	$\%fat = (5.033/\text{density} - 4.592) \times 100$
LBM=fat-free mass=BW-(BW×%body fat)	

적외선 측정법에 의한 LBM 측정은 Futrex사의 모델 5000 체지방 측정기(Futrex, Inc, Gaithersburg, MD, USA)를 사용하여 측정하였다²²⁾. 측정방법은 피검자를 앉은 자세에서 팔을 탁상에 올려놓게 한후, 지방의 흡수율이 최대인 930nm와 물의 흡수율이 최대인 970nm의 두 적외선을 체지방 측정의 기준 부위인 이두박근에 주사하여 반사되어 되돌아오는 두 적외선의 세기를 측정하여 그 비율로 체지방과 LBM의 정도를 산출하였고, 3회 반복 측정의 산술평균을 사용하였다.

인체 계측으로는 신장 및 체중을 측정하였고, Lange caliper를 이용하여 삼두박근(triceps), 이두박근(biceps), 견갑골 하단(subscapular), 상장골극(suprailiac) 등의 4부위에서 피부추벽 두께(skinfold thickness)를 측정하였다²³⁾(Table 2). 투석 환자는 피부 긴장도, 탈수 및 부종의 정도에 따라 피부추벽 두께가 변할 수 있으므로 환자가 투석액을 배액한 상태에서 실시하였다. 또한 측정자의 기술과 편견에 따른 오차를 최소화하기 위하여 동일한 관찰자가 표준화된 인체 계측법에 따라 3회 반복 측정후, 이들의 산술평균을 측정값으로 사용하였다.

크레아티닌 동력학 모델을 이용한 LBM 측정법은 24시간 동안 배액된 복막투석액 및 소변량, 요소 질소와 크레아티닌 배설량을 측정하여 Keshaviah 등의 공식을 이용하여 LBM를 계산하였다¹⁰⁾(Table 3).

DEXA를 이용한 LBM 측정법은 Lunar사의 DPX-L 모델(Lunar Radiation, Madison, WI, US

Table 3. Creatinine Kinetics

In the steady state	
production=excretion+metabolic degradation (urine+dialysate)	
Excretion (mg/day)=VuCu+VdCd	
Metabolic degradation(mg/day)	
in normals=0.418×body wt(kg)	
in patients=0.38×Scr(mg/day)×body wt(kg)	
LBM(kg)=(0.029×production)(mg/day)+7.38	
Vu: volume of urine(mL/24hr)	
Vd: volume of effluent dialysate(mL/24hr)	
Cu: creatinine concentration in urine (mg/mL)	
Cd: creatinine concentration in effluent dialysate (mg/mL)	
Scr: serum creatinine(mg/dL)	

Table 4. Clinical Characteristics of the Patients
(Range)

Sex(male:female)	15:15	
Age (yr)	46.7±9.8	26-65
PD duration (months)	35.5±25.2	7.8-117.4
RRF (ml/min)	1.02±1.48	0.000-6.499
Underlying renal disease		
Chronic glomerulonephritis	16	
Hypertension	11	
Unknown	3	

Values are mean±standard deviations
PD: peritoneal dialysis
The other abbreviations are the same as those in Table 1

Table 5. Biochemical and Urea Kinetic Data of the Patients

Hct(%)	25.7±5.9
BUN(mg/dl)	53.8±10.7
Creatinine(mg/dl)	11.9±3.2
Cholesterol(mg/dl)	194±32
Albumin (g/dl)	3.9±0.5
NPCR (g/kg/day)	0.98±0.16
KT/V	2.08±0.34
SCCr(l/week/1.73m ²)	65.8±22.1

Values are mean±standard deviations
NPCR: normalized protein catabolic rate
KT/V: total KT/Vurea per week
SCCr: standardized creatinine clearance

A)의 total body scan software version 3.4를 사용하였다. DEXA는 양광자감마선 측정법(dual photon absorptiometry)과 같은 원리와 방법을 이용하여 인체구성 성분을 측정한다. 그러나 DEXA의 경우 에너지원으로 Gadolinium¹⁵³ 동위원소 대신에 X-선 에너지 발생장치를 사용한다. 또, 6.41 과 11.2 fJ의 일정한 에너지광선을 피검자에게 방출하여 두 개의 에너지광선이 조직을 통과할 때 발생하는 서로 다른 attenuation 비율을 구하여 연조직의 fat mass, lean soft tissue mass(근육, 내부장기, 체수분) 그리고 bone mineral content 등의 3가지 성분을 각각 나누어서 측정한다¹⁷⁾. 검사 방법은 피검자들이 투석액을 검사전에 모두 배액한 상태로 DEXA 검사대에 바로 누워 발끝에서 머리 끝까지 1cm 간격으로 스캐너가 fast scan mode로 연속적으로 움직이면서 인체구성을 측정하였으며 피검자의 방사선 피폭량은 약 0.002

Table 6. Anthropometric Findings of the Patients

Anthropometry	
Height (cm)	162.1±7.4
Body weight (kg)	58.1±7.5
BMI (kg/m ²)	22.1±2.5
LBM(kg)	42.4±5.6
%LBM	73.3±7.3

Values are mean±standard deviations
BMI: body mass index

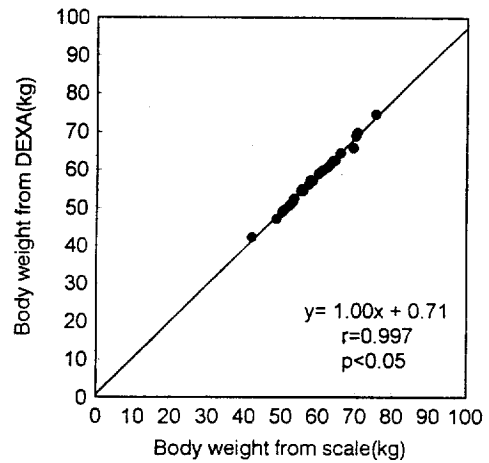


Fig. 1. Correlation between body weight measured by a standard scale and body weight by DEXA.

mrem 정도로 미량이었다.

4. Fat free mass index (FFMI) 측정

FFMI의 측정은 각 방법에 따른 LBM을 대상 환자의 신장으로 표준화하여 $FFMI = LBM(kg)/height(m^2)$ 공식을 사용하여 계산하였다.

3. 통계 처리

통계 처리는 Windows-SPSS release 6.1을 이용하였다. 검사 결과는 평균±표준 편차로 표시하였으며 지표들간의 상관관계를 규명하기 위하여 단순 회귀분석과 paired t-test 를 사용하였고, 통계적 유의성은 p value 0.05 미만으로 하였다.

결 과

1. 대상 환자의 임상적 특성과 인체계측 조사

대상 환자는 30명으로 남자와 여자가 각각 15명이었고, 평균 연령은 47.5세, 평균 복막투석 기간은 36.0개월이었다. 만성 신부전증의 원인 질환으로는 만성사구체신염이 16명(53.3%)으로 가장 많았고, 고혈압, 원인 불명의 순이었다(Table 4). 환자군의 평균 알부민 농도는 3.9g/dl, RRF은 1.02ml/min, NPCR은 0.98g

/kg/day 이었으며 KT/V 및 SCCr은 각각 2.08, 65.8 l/week/1.73cm² 이었다(Table 5). 대상 환자의 평균신장과 체중은 각각 162.1cm, 58.1kg이었고, 체질량지수(body mass index)는 22.1kg/m²이었다. 인체계측법으로 산출된 평균 LBM(kg)과 평균 %LBM은 각각 42.4kg과 73.3%였다(Table 6).

2. DEXA와 전자 저울을 이용한 체질량 비교

대상 환자들을 전자 저울과 DEXA로 측정된 체질량은 각각 58.1±7.5(평균±표준 편차)kg, 56.9±7.4

Table 7. LBM, %LBM and FFMI Measured by DEXA and Ather Methods in CAPD Patients

	DEXA	BIA	Anthropometry	IFI	Cr kinetics
LBM(kg)	42.6±6.3	44.0±6.3*	42.4±5.6	46.1±7.1*	43.2±8.6
LBM(%BW)	73.9±10.2	76.1±9.7*	73.3±7.3	79.6±8.6*	74.3±11.3
FFMI(kg/m ²)	16.2±1.6	16.7±1.9*	16.1±1.3	17.5±1.9*	16.3±2.3

Values are mean±standard deviations

DEXA: dual energy X-ray absorptiometry

BIA: bioelectrical impedance analysis

IFI: infrared interactance

Cr kinetics: creatinine kinetics

*: p<0.05, vs. DEXA

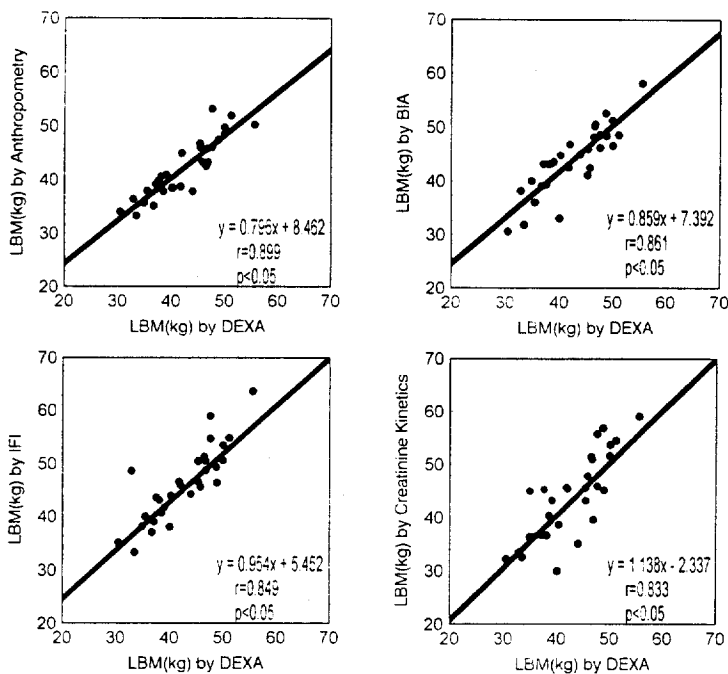


Fig. 2. Correlation between LBM measured by DEXA and LBM obtained by anthropometry, BIA, IFI and creatinine kinetics. BIA: bioelectrical impedance analysis, IFI: infrared interactance.

kg였고 전자 저울에 의한 체질량 측정값이 통계적으로 유의하게 높았다. 전자 저울로 측정한 체질량과 DEXA에 의한 체질량 사이에는 상관관계수 0.99의 매우 높은 상관관계를 관찰할 수 있었고 SEE(standard error of estimate)는 0.58gm 이었다. 단순 선형 회귀식의 기울기는 1.008로 1과 차이가 거의 없었고, y 절편은 0.71로 원점에 근접하였다(Fig. 1).

3. DEXA와 다른 측정법에 따른 LBM, %LBM 및 Fat Free Mass Index 측정값의 비교

Table 7은 각 방법에 따른 LBM, %LBM 및 fat free mass index(이하 FFMI로 약함)의 평균값을 나타내고 있다. 인체계측법과 크레아티닌 동력학 방법을 이용한 LBM, %LBM 및 FFMI 측정값은 DEXA를 이용한 LBM, %LBM 및 FFMI 측정값과 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 그러나 BIA와 Infrared interactance(이하 IFI로 약함)를 이용한 LBM, %LBM 및 FFMI 측정은 DEXA와 강한 양성 상관관계를 보였으나(Fig. 2 & 3), DEXA를 이용한 방법보다 통계적으로 유의하게 측정값이 높았다. 특히 IFI

를 사용한 LBM, %LBM, FFMI 측정값이 다른 방법들에 비해 가장 높게 나왔다(Table 7).

DEXA로 측정한 LBM 및 %LBM과 다른 4가지 방법들에 따른 LBM 및 %LBM 사이의 상관관계에 대한 산포도를 Fig. 2와 Fig. 3에 도시하였다.

DEXA로 측정한 LBM과 다른 네가지 방법에 의한 LBM은 통계적으로 유의하게 밀접한 양성 상관관계를 보였다.($r=0.833-0.899$, $p<0.05$). 특히 인체계측법을 이용한 경우가 r 값이 0.899로 가장 상관관계가 높았고 R^2 값도 0.808로 가장 높았다(Fig. 2).

%LBM 경우도 DEXA를 제외한 네가지 방법 모두가 DEXA에 의한 %LBM와 통계적으로 유의하게 양성 상관관계를 보였다($r=0.681-0.908$, $p<0.05$). 여기서도 인체계측법을 이용한 경우가 r 값이 0.908로 가장 상관관계가 높았고 또한 R^2 값도 0.825로 가장 높았다(Fig. 3).

Table 8은 DEXA 방법을 기준으로 계산한 평균 예측오차 및 root mean squared prediction error(이하 RMSE로 약함)를 나타내고 있다. 인체계측법에서 평균 예측오차가 -0.241이었고 RMSE 값은 2.716

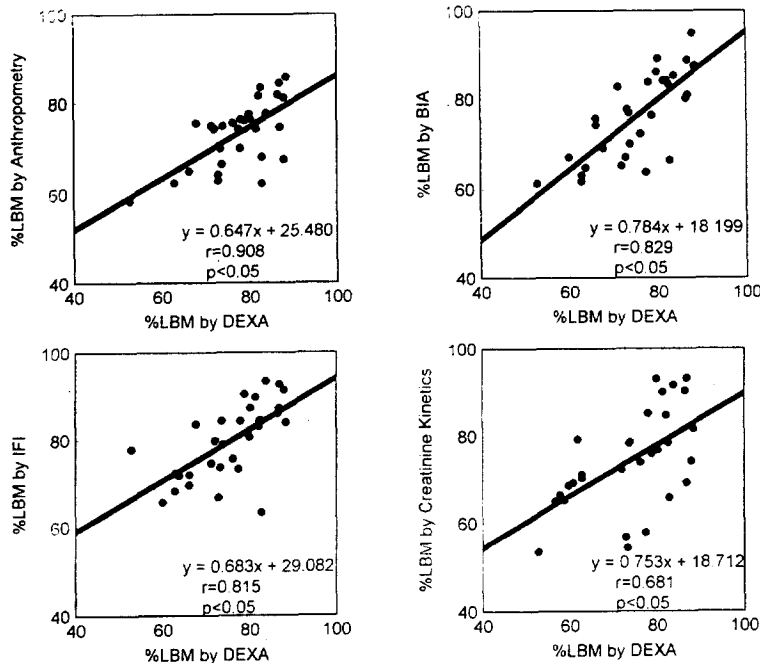


Fig. 3. Correlation between %LBM measured by DEXA and %LBM obtained by anthropometry, BIA IFI and creatinine kinetics.
BIA: bioelectrical impedance analysis, IFI: infrared interactance.

Table 8. Mean Prediction Errors and root mean Squared Prediction errors for Measuring LBM(kg) by four Different Methods, Compared to the Measurement using DEXA

	DEXA	Anthropometry	BIA	IFI	Cr kinetics
ME	Comparison standard	-0.241	1.464	3.606	0.616
RMSE	Comparison standard	2.772	3.849	6.312	4.851

ME: mean prediction error

RMSE: root mean squared prediction error

The other abbreviations are the same as those in Table 7

으로 4가지 방법 중 가장 낮았다. 대상 환자를 남녀로 구분하여 LBM을 비교하였을때 남녀 모두 상관계수는 BIA에서 인체계측법 보다 더 높았으나(남자: 0.856 vs. 0.810, 여자: 0.889 vs. 0.734) 평균 예측오차 및 RMSE 값은 인체계측법에서 더 낮았다 (남자: 평균 예측오차: 0.358 vs. 0.967, RMSE: 2.60 vs. 3.16, 여자: 평균 예측오차: 0.485 vs. 3.07, RMSE: 2.82 vs. 3.84).

4. LBM과 요소 동력학 모형 및 혈청 알부민과의 상관관계

DEXA를 사용하여 측정한 LBM과 Weekly KT/Vurea, NPCR 및 혈청 알부민간의 상관계수는 각각 -0.211, -0.079, 및 -0.089로 음의 상관관계를 보였고 통계적으로 유의하지 않았다. DEXA를 사용하여 측정한 LBM과 RRF 및 SCCr 사이에는 상관계수가 0.194 및 0.153로 양의 상관관계를 보였으나 역시 유의한 상관관계가 관찰되지 않았다.

고 안

복막투석을 받는 말기 신부전 환자들이 증가하고 부적절한 투석으로 영양실조가 되기 쉽다는 문제점이 제기되면서²⁴⁾ 복막투석의 적절도를 평가하는 것이 중요한 점으로 대두되고 있다. CAPD 환자는 투석액으로 단백질 및 아미노산이 소실되고, 반복되는 복막염, 복부 팽만감과 투석액을 통한 당분 흡수로 인한 식욕 감퇴 등으로 영양실조가 되기 쉬운 상태이다. 생화학적, 인체계측학적 방법으로 CAPD 환자의 영양상태를 평가한 연구에 의하면 전체 CAPD 환자의 18-56%가 영양실조 상태에 있는 것으로 보고하였다²⁵⁾. 말기 신부전 환자에서 발견되는 단백질 섭취의 감소는 총 입원 일수 및 조기 사망률과 밀접한 관계가 있었고,

낮은 혈청 알부민 농도는 CAPD 환자군에서도 유병률 및 사망률의 증가와 관련이 있었다²⁶⁾. 최근 투석치료를 받고 있는 환자들의 수명이 점차로 연장됨에 따라 삶의 질과 재활에 관한 관심이 높아지고 있으며, 적절한 투석은 환자의 영양 상태와 밀접한 관련이 있으므로 규칙적인 투석 적절도 및 영양 상태의 평가는 이들 환자의 유병률 및 사망률을 결정하는 중요한 요인이다²⁷⁾. 특히 CAPD 환자에서는 투석기간이 증가될수록 투석액을 통한 열량 흡수와 체중 증가로 인해 단백질-열량 영양실조 상태가 노출되지 않으므로 규칙적인 영양상태의 평가가 더욱 중요하다.

영양 상태의 평가법에는 기억 회상법에 의한 단백질 및 열량 섭취의 측정, 면역능력의 측정, 체성분 분포량 측정, 직접적인 인체계측이나 전자기파 또는 초음파, 임피던스나 총칼륨 등을 이용한 LBM과 체지방분을 측정, 요소 동력학 모형을 이용한 단백질 이화율 측정, prognostic nutritional index(PNI), 그리고 주관적 영양 상태 평가법(subjective global assessment)이 있으며, 생화학적 지표들로는 혈청 알부민, urea nitrogen, transferrin, 혈청 IGF-1 등을 들수 있다²⁸⁻³¹⁾.

요독증은 단백질 대사, 당의 분해 및 지방 저장을 비롯한 생체대사에 다양한 영향을 미쳐 인체 구성에 변화를 초래할 수 있다³²⁾. 특히 식욕부진과 저단백식이 등의 영향으로 체지방과 LBM의 급격한 감소가 초래될 수 있다⁹⁾. LBM은 식이 단백질 섭취의 종합적인 결과로 정상인에서 체내 질소 및 영양상태와 밀접한 상관관계를 가지고 있어 복막투석 환자들에서 장기간의 영양상태 평가시 혈청 알부민이나 transferrin 보다 더 정확한 지표로 알려져 있다^{32, 33)}. 정상인에서 LBM의 정상치는 남녀 모두 체중에 대한 LBM의 비율(%LBM)이 70% 이상인 것으로 알려져 있고, CAPD 환자들에서는 %LBM이 남녀 각각 70%,

60% 이상일 때 영양상태가 양호한 것으로 보고되어 있다¹⁰⁾. 또한 LBM이 정상보다 40% 이상 감소하면 치명적인 것으로 알려져 있어³⁴⁾, 영양상태 뿐만 아니라 예후와 관련하여 투석의 적절도를 평가하는 데도 주기적인 LBM의 측정이 중요하다.

본 연구의 환자들은 평균 NPCR이 0.98g/kg/day로 권장되고 있는 1.2g/kg/day 보다 낮았으나, 영양상태의 생화학적인 지표인 평균 혈청 알부민과, 인체계측학적 지표인 체질량지수(body mass index)가 각각 3.9g/dl, 22.1kg/m²로 정상범위였다. LBM의 정상 범위는 연령과 성에 따라 결정되며 본 연구에서는 DEXA로 측정된 남자 환자 1명만 %LBM이 67%로 정상의 기준인 70% 보다 낮았고, 여자 환자는 5명의 %LBM이 60% 미만으로 측정되어 전체 대상 환자중 6명이 정상보다 낮은 %LBM을 갖고 있음을 관찰하였다. 전체 대상 환자들의 평균 KT/V는 2.08이었고 평균 SCCr이 65.8l/week/1.73m²로 복막투석은 적절하게 시행되고 있었다.

인체는 연조직과 골조직(total body bone mineral)으로 구성되어 있고 연조직은 다시 지방조직(fat tissue)과 체지방조직(lean tissue)로 구분할 수 있다. 인체 대사와 영양 실조 등에 대한 연구가 발달하면서 인체 구성 성분의 측정에 대한 필요성이 생겼고, 인체 구성에 대한 간접적인 측정법에 대한 연구는 1940년 AR Behnke 등에 의해서 처음 시작되었다¹⁴⁾. 현재 LBM을 측정할 수 있는 방법에는 전통적인 총체액 결정법, 수중 계량법(hydrodensitometry), 총칼륨 결정법, 인체 계측 조사법, 크레아티닌 동력학을 응용한 방법 등이 있고 임피던스 측정법 및 DEXA 등이 새로이 개발되어 현재 사용되고 있다¹²⁾.

본 연구는 정상인과 만성 투석환자군에서 LBM 측정에 현재까지 비교적 정확한 방법으로 알려진 DEXA와 인체계측법과 같이 임상에서 손쉽게 사용할 수 있는 방법들간의 상관관계를 알아보기 위해 각 방법간의 LBM, %LBM 및 FFMI에 대한 상관도와 LBM 및 %LBM의 평균값과의 차이를 비교 관찰하였다.

Mazess 등은 1990년 DEXA를 이용하여 대상 환자의 전신 골밀도, 국소 골밀도와 연조직 구성요소를 측정하였다. 이 연구에서 DEXA는 방사선 피폭량이 적으면서 정확한 구성 성분 분석을 할 수 있음이 입증

되었다¹⁷⁾. Pritchard 등은 1993년 수중 계량법, 인체계측법, 임피던스 측정법 및 중수 회석법 등의 간접적인 방법과 비교하여 DEXA가 비교적 정확하게 연조직을 측정함을 발표하였다³⁵⁾. 한편 Svendsen 등은 7마리의 돼지를 희생시켜 생화학적 성분 분석을 시행한 후 DEXA의 결과와 비교하여 DEXA가 비교적 정확하게 연조직의 구성 성분을 측정함을 규명하였다³⁶⁾. Horber 등은 정상인과 혈액 투석환자에서 DEXA가 체지방을 정확하게 측정함을 관찰하였고, Stenver 등은 혈액 투석환자군에서 DEXA가 인체 구성을 분석하는데 유용함을 확인한 이후 DEXA는 여러 연구에서 인체 구성, 특히 체지방과 LBM를 측정하는데 높은 정확성을 인정받고 있다^{9, 37, 38)}. 본 연구에서도 전자 저울에 의한 환자들의 체질량과 DEXA에 의한 체질량간에 매우 높은 상관관계를 보여 DEXA가 인체 구성을 정확하게 측정한다는 Stenver 등의 보고와 유사한 결과를 얻었다.

Brulez 등은 8명의 정상 자원자와 14명의 복막투석환자들을 대상으로 LBM 측정법을 비교하여 DEXA와 인체계측법 사이에 밀접한 상관관계(R²=0.79)를 확인하였다³⁹⁾. 또한 Bergia 등은 31명의 복막투석 환자들을 대상으로 DEXA와 인체계측법, BIA 및 크레아티닌 동력학을 이용한 LBM 측정법을 비교하여 인체계측법이 DEXA와 가장 상관관계가 높았다고 주장하였다⁴⁰⁾.

본 연구에서 인체계측법에 의한 LBM 측정값은 평균±표준 편차가 42.4±6.3kg으로 DEXA를 사용하여 측정된 LBM 42.6±6.3kg과 가장 근접하였다. BIA 측정법과 IFI의 경우는 평균±표준 편차가 각각 44.0±6.3kg, 46.1±7.1kg로 통계적으로 유의하게 큰 차이를 보였다. BIA의 경우 두개의 전극 사이의 전기 저항을 측정하여 체지방 및 LBM을 계산하므로 세포외 수분의 증가는 측정되는 전기 저항을 감소시켜 체지방의 감소와 LBM의 증가를 초래한다. 또한 IFI도 인체의 조직 중 수분을 포함한 간질조직을 LBM으로 측정하므로 정상인보다 부종과 같은 수분 저류가 흔히 동반되고 세포외 수분이 차지하는 비중이 큰 복막투석환자군에서 여분의 수분을 LBM으로 초과 계산하여 차이가 생길 것으로 생각된다¹⁰⁾. Keshaviah 등에 의하면 임상적으로 안정된 복막투석 환자군에서 크레아티닌 동력학에 의한 LBM 측정은 BIA나 IFI 방법에

의한 LBM 측정값에 비해 측정값의 절대값이 작았으나 유의한 상관관계를 보이고 있어 LBM 측정에 유용하다고 주장하였다¹⁰⁾. 반면에 Nielsen 등은 정상인과 복막투석 환자군 및 투석 치료를 받지 않는 만성 신부전 환자군에서 DEXA와 크레아티닌 동력학에 의한 LBM 측정값을 비교하여 신부전 및 복막투석 환자군에서 크레아티닌 동력학에 의한 LBM 측정은 부정확하며 단지 인체의 근육양을 반영한다고 하였다⁴¹⁾. 본 연구에서 크레아티닌 동력학에 의한 LBM의 평균±표준편차는 43.2±8.6kg으로 DEXA를 이용한 LBM보다 크게 측정되는 결과가 관찰되었으나 측정값간의 밀접한 상관관계를 보여 Keshaviah의 결과와 유사하였다.

본 연구에서 DEXA로 측정한 LBM과 다른 4가지 방법으로 측정한 LBM 사이에는 상관계수가 모두 0.833 이상으로 밀접한 상관관계가 있었다. 가장 정확한 측정 방법은 밀접한 상관관계 뿐만 아니라 기준이 되는 참값과의 평균 예측오차가 작고 측정방법의 정확성의 지표로 볼수 있는 root mean squared prediction error(RMSE) 값이 작아야한다⁴²⁾. DEXA로 측정한 LBM을 기준으로 하였을때 인체계측법으로 측정한 LBM의 평균 예측오차와 RMSE가 각각 4가지 방법 가운데 가장 작았다. 대상 환자를 남녀로 구분하여 LBM(kg)비교하였을 때 남녀 모두 상관계수는 BIA에서 인체계측법 보다 더 높았으나 평균 예측오차 및 RMSE 값은 인체계측법에서 더 작아 남녀로 구분하여도 인체계측법이 DEXA에 의한 방법과 가장 근접함을 알 수 있었다. 또한 인체계측법은 DEXA를 제외한 다른 3가지 LBM 측정 방법들과도 상당히 밀접한 상관관계를 갖고 있어 임피던스 측정법, IFI 및 크레아티닌 동력학을 이용한 LBM 측정법과의 상관계수가 각각 0.785, 0.861 및 0.873이었다($p < 0.05$).

인체계측법은 부종의 정도, 육체적 운동의 정도, 관측자간의 측정오차가 등 여러 요인에 의해 오차가 발생할 수 있고¹²⁾, Pollock 등은 복막투석 환자군에서 인체계측법이 총체질소법으로 입증된 영양실조 상태를 예측할 만큼 예민한 검사 방법이 아니라고 주장하였다¹⁰⁾. 그러나 인체계측법은 숙달된 관측자가 측정할 경우 수중 계량법을 활용한 측정치와 5% 내외의 오차를 갖는 정확성을 보일수 있으며 또한 연령과 성별로 고려한 공식을 사용한 경우 오차의 가능성을 더욱 줄

일 수 있다고 알려져 있다¹⁴⁾. 본 연구에서도 DEXA와 인체계측법 사이에 높은 상관관계가 있음이 관찰되었고, 이러한 결과는 숙달된 단일 관측자가 모든 대상 환자를 관측하였던 요인과 제지방무게를 산출하는데 연령과 성별에 따른 Durnin과 Womersley(1974)의 공식을 활용하였던 점에서 기인한 것으로 사료된다.

%LBM 측정에서도 DEXA와 나머지 4가지 방법간의 상관계수가 0.681에서 0.908로 통계학적으로 유의하였고, 인체계측법과 DEXA에 의한 방법간의 상관관계가 가장 높았다.

과거에는 LBM과 체지방을 체중의 비율로 표현하여 영양상태나 비만의 정도를 관찰하였으나 키가 큰 단백질-열량 영양실조 환자의 경우 키가 작은 영양상태가 양호한 환자와 %LBM의 값이 유사하게 계산되는 등의 단점이 있다. 이를 교정하기 위해 신장을 기준으로 표준화된 LBM과 체지방을 fat free mass index(FFMI)로 표시하여 신장이 각기 다른 환자들의 영양상태 비교에 사용된 바 있다⁴³⁾. 본 연구에서 FFMI 측정도 DEXA 및 다른 방법간에 상관도가 높았고, LBM 및 %LBM 측정과 마찬가지로 DEXA와 인체계측법 사이의 상관관계가 가장 높았다.

LBM과 요소 동력학 모형 및 혈청 알부민간의 상관관계는 아직 논란이 많다. Schreiber 등은 혈청 알부민과 LBM, PCR, urea generation rate(이하 UGR로 약함)와 유의한 상관관계가 있다고 발표하였고, UGR의 감소와 %LBM의 감소는 불량한 예후와 관련이 있다고 하였다⁴⁴⁾. 반면에 Brulez 등은 LBM이 혈청 알부민, prealbumin 및 transferrin 등의 영양상태의 생화학적 지표들과 전혀 상관관계가 없다고 하였고, Cosentino 등의 연구에서도 혈청 알부민과 LBM 사이의 상관관계를 관찰할 수 없었다^{39, 45)}. 본 연구에서도 LBM과 혈청 알부민, NPCR 및 KT/V 등과 유의한 상관관계를 확인할 수 없었다. 이와 같은 결과는 혈청 알부민 및 NPCR이 visceral protein을 반영하는 지표인데 반해 LBM이 visceral protein과는 다른 somatic protein을 반영하는 지표이므로 나타나는 결과라고 생각된다.

결론적으로 CAPD 환자에서 인체계측법을 이용한 LBM의 측정은 BIA, IFI 및 크레아티닌 동력학 방법에 의한 LBM 측정에 비하여 DEXA에 의한 측정치와 가장 높은 상관관계를 보였고, 가장 낮은 평균 예

측오차 및 RMSE를 보였다. 따라서 인체계측법은 장기간의 영양상태를 반영하는 LBM을 정확히 측정할 수 있는 방법으로 판단된다.

본 연구 결과를 바탕으로 비교적 측정하기 수월한 인체계측법을 이용한 LBM의 측정은 - LBM 추적관찰을 통한 영양상태 평가에 관한 장기적인 연구가 드문 현실을 고려할 때 - 향후 CAPD 환자의 정기적인 영양상태의 평가와 적절한 투석 처방에도 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

결 론

장기간 복막투석 치료를 받는 환자에서 영양실조 상태는 흔히 관찰되며 이는 환자의 유병률 및 사망률과 밀접한 관계가 있다. LBM은 식이 단백질 섭취의 종합적인 결과로 정상인에서 장기적인 영양상태 평가의 정확한 지표로 알려져 있고, CAPD 환자에서도 LBM은 장기적인 영양상태와 밀접한 상관관계가 있다고 보고되었다. 그러나 임상에서 손쉽게 이용할 수 있는 정확하고 경제적인 LBM 측정법의 비교에 대한 연구는 적었다. 이에 연구자는 CAPD 환자에서 보다 정확히 LBM을 반영할 수 있는 방법을 선정하고자 연세대학교 의과대학 세브란스 병원에서 최소한 3개월 이상 복막투석 치료를 받고 있는 환자중 최근 1개월간 복막염이 없었던 임상적으로 안정된 환자들을 대상으로 DEXA와 인체계측법, 임피던스 측정법, 적외선 측정법 및 크레아티닌 동력학으로 측정한 LBM치를 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 총 대상 환자는 30명으로 남녀가 각각 15명 있었고, 평균 투석 기간은 35.5개월이고 원인 질환으로는 만성 사구체 신염이 16명(53.3%)으로 가장 많았다.

2) 환자군의 평균 혈청 알부민 농도는 3.9 ± 0.5 g/dl, 표준화 단백질 이화율은 0.98 ± 0.16 g/kg/day, 그리고 KT/Vurea 및 표준 크레아티닌 청소율은 각각 2.08 ± 0.34 , 65.81 ± 22.1 l/week/1.73m²이었다.

3) DEXA에 의한 LBM과 다른 네가지 방법에 의한 LBM 사이에는 모두 통계적으로 유의있는 양의 상관관계가 있었으며, 인체계측법을 이용한 경우가 가장 밀접한 상관관계가 있었다($r=0.899$, $p<0.001$).

4) DEXA에 의한 %LBM도 다른 네가지 방법에

의한 %LBM과 통계적으로 유의있는 양의 상관관계가 있었으며, %LBM 역시 인체계측법을 이용한 경우가 DEXA와 가장 밀접한 상관관계가 있었다($r=0.908$, $p<0.05$).

5) DEXA로 측정한 LBM과 다른 방법으로 측정한 LBM값과의 평균 예측오차와 RMSE는 인체계측법에 의한 LBM이 평균 예측오차 및 RMSE가 각각 -0.241 및 2.772로 4가지 방법 가운데 가장 작았다.

이상의 결과로 인체계측법은 DEXA와 같이 LBM을 정확하게 측정함을 관찰할 수 있었다. 따라서 임상적으로 안정된 CAPD 환자에서 LBM의 정기적인 추적관찰에 DEXA의 활용이 어려운 실정에서 인체계측법을 이용함으로써 정기적인 영양상태의 평가에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

= Abstract =

Comparison of Different Measurements of Lean Body Mass in Continuous Ambulatory Peritoneal Dialysis Patients

Hyeong-Cheon Park, M.D., In Hee Lee, M.D.
Kun Ho Kwon, M.D., Hyun Jin Noh, M.D.
Shin Wook Kang, M.D., Kyu Hun Choi, M.D.
Ho Yung Lee, M.D. and Dae Suk Han, M.D.

Department of Internal Medicine, College of
Medicine Institute of Kidney Disease, Yonsei
University, Seoul, Korea

Jee Young Yoon, M.S., Min Jeong Shin, M.S.
and Jong Ho Lee, Ph.D.

Department of Food and Nutrition, College of
Human Ecology, Yonsei University, Seoul, Korea

Malnutrition is common in continuous ambulatory peritoneal dialysis(CAPD) patients. Previous studies showed that 18-56% of CAPD patients were suffering from varying degrees of malnutrition. Malnutrition reflects inadequate dialysis or improper dietary intake, leading to a reduction in lean body mass(LBM). Monitoring of LBM, therefore is important for long-term nutritional assessment of CAPD patients. At present, dual energy X-ray absorptiometry(DEXA) is known to accurately predict body compositions in normal and dialysis patients. To determine the most convenient and cost effective tool for LBM measurement, the present cross-sectional study was carried out assessing LBM by

DEXA as well as by four other techniques: anthropometry, bioelectrical impedance analysis, infrared interactance and creatinine kinetics.

1) Subjects were 15 men and women each, all clinically stable with a mean CAPD duration of 35.5 months. The mean concentration of serum albumin was $3.9 \pm 0.5 \text{g/dl}$, normalized protein catabolic rate (NPCR) $0.98 \pm 0.16 \text{g/kg/day}$, KT/Vurea 2.08 ± 0.34 and standardized creatinine clearance (SCCr) $65.8 \pm 22.1 \text{l/week/1.73m}^2$.

2) Significant correlations between LBM measured by DEXA and LBM measured by other methods were found ($r > 0.833$, $p < 0.05$). Compared with DEXA, the best result was found with anthropometry as it had the highest r value in both measurements of LBM and %LBM (r values are 0.899 and 0.908, respectively).

3) The mean prediction error and root mean squared prediction error was lowest between LBM by anthropometry and that by DEXA.

4) LBM showed no correlation with serum albumin, NPCR, KT/Vurea, and SCCr.

In conclusion, anthropometry accurately predicts LBM and may be a suitable alternative tool compared to DEXA in stable CAPD patients.

Key Words: Continuous ambulatory peritoneal dialysis, Lean body mass, Dual energy X-ray absorptiometry, Anthropometry

참 고 문 헌

- 1) Dombros NV, Digenis GE, Oreopoulos DG: Nutritional markers as predictors of survival in patients of CAPD. *Perit Dial Int* 15(Suppl):10-19, 1995
- 2) Hakim RM, Levin N: Malnutrition in hemodialysis patients. *Am J Kidney Dis* 21:125-137, 1993
- 3) Lowrie EG, Lew NL: Death risk in hemodialysis patients. The predictive value of commonly measured variables and an evaluation of death rate differences between facilities. *Am J Kidney Dis* 15:458-482, 1990
- 4) Rayner HC, Stroud DB, Salamon KM, Stress BJG, Thomson NM, Atkins RC, Wahlqvist ML: Anthropometry underestimates body protein depletion in hemodialysis patients. *Nephron* 59:33-40, 1991
- 5) Ikizler TA, Wingard RL, Hakim RM: Malnutrition in peritoneal dialysis patients: etiologic factors and treatment options. *Perit Dial Int* 15: S63-S66, 1995
- 6) Young GA, Kopple JD, Lindholm B, Vonesh EF, Vecchi AD, Scalamogna A, Castelnova C, Oreopoulos DG, Anderson GH, Bergstrom J, DiChiro J, Gentile D, Nissenson A, Sakhrani L, Brownjohn AM, Nolph KD, Prowant BF, Algrim CE, Martis L, Serkes KD: Nutritional assessment of continuous ambulatory peritoneal dialysis patients: An international study. *Am Kidney Dis* 20:462-471, 1991
- 7) Acchiardo SR, Moore LW, Latour PA: Malnutrition as the main factor in morbidity and mortality of hemodialysis patients. *Kidney Int* 24(Suppl 16):S199-S209, 1983
- 8) 이호영, 김영수, 김영기, 김홍수, 손승환, 최규현, 한대석: 지속성 외래 복막투석 환자에서 복막염의 위험인자에 관한 연구. *대한내과학회잡지* 40:797-804, 1991
- 9) Stall S, Ginsberg NS, Lynn RI, Zabetakis PM: Bioelectrical impedance analysis and dual energy X-ray absorptiometry to monitor nutritional status. *Perit Dial Int* 15(Suppl):S59-S62, 1995
- 10) Keshaviah PR, Nolph KD, Moore HL, Prowant B, Emerson PF, Meyer M, Twardowski ZJ, Khanna R, Ponferrada L, Collins A: Lean body mass estimation by creatinine kinetics. *J Am Soc Nephrol* 4:1475-1485, 1994
- 11) Lo WK, Prowant BF, Moore HL, Gamboa SB, Nolph KD, Flynn MA, Londeree B, Keshaviah P, Emerson P: Comparison of different measurements of lean body mass in normal individual and in chronic peritoneal dialysis patients. *Am J Kidney Dis* 23:74-85, 1994
- 12) Jensen MD: Research techniques for body composition assessment. *J Am Diet Assoc* 92:454-460, 1992
- 13) Bergstrom J: Why are dialysis patients malnourished? *Am J Kidney Dis* 26:229-241, 1995
- 14) Lukaski HC: Methods for the assessment of human body composition: traditional and new. *Am J Clin Nutr* 46:537-556, 1987
- 15) Moore FD: Determination of total body water and solids with isotopes. *Science* 104:157-160, 1946
- 16) Schoeller DA, Van Santen E, Peterson DW, Dietz W, Jaspan J, Klein PD: Total body water measurement in humans with O18 and H2 labelled water. *Am J Clin Nutr* 33:2686-2693, 1980
- 17) Mazess RB, Barden HS, Bisek JP, Hanson J: Dual-energy x-ray absorptiometry for total body and regional bone-mineral and soft-tissue

- composition. *Am J Clin Nutr* 51:1106-1112, 1990
- 18) Watson PE, Watson ID, Batt RD: Total body water volumes for adult male and female estimated from simple anthropometric measurements. *Am J Clin Nutr* 33:27-39, 1980
 - 19) 강덕희, 강신욱, 김홍수, 이승우, 최규현, 이호영, 한대석: 지속성 외래 복막 투석 환자에서 영양 상태를 반영하는 지표들에 관한 연구. 대한신장학회지. 13:287-299, 1994
 - 20) 김덕원, 송철규, 황수관: 임피던스 방법을 이용한 체지방 측정. 의공학회지 13:133-139, 1992
 - 21) Segal KR, Van Loan M, Fitzgerald PI, Hodgdon JA, Van Itallie TB: Lean body mass estimation by bioelectrical impedance analysis: A four site cross validation study. *Am J Clin Nutr* 47:7-14, 1988
 - 22) Conway JM, Norris KH, Bodwell CE: A new approach for the estimation of body composition: infrared interactance. *Am J Clin Nutr* 40:1123-1130, 1984
 - 23) Durnin JV, Womersley J: Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Br J Nutr* 32:77-97, 1974
 - 24) Michael RJ: Etiology of severe malnutrition: Results of an international cross-sectional study in continuous ambulatory peritoneal dialysis patients. *Am J Kidney Dis* 23:412-420, 1994
 - 25) Bergstrom J, Lindholm B: Nutrition and adequacy of dialysis. How do hemodialysis and CAPD compare? *Kidney Int* 43(Suppl 40):S39-S50, 1993
 - 26) Kaminski MV, Lowrie EG, Rosenblatt SG, Haase T: Malnutrition is lethal, diagnosable, and treatable in ESRD patients. *Transplant Proc* 23:1810-1815, 1991
 - 27) Bergstrom J: Nutrition and adequacy of dialysis in hemodialysis patients. *Kidney Int* 43(Suppl 41):261-267, 1993
 - 28) Blumenkrantz MJ, Kopple JD, Gutman RA, Chan YK, Barbour GL, Roberts C, Shen FH, Gandhi VC, Tucker CT, Curtis FK, Coburn JW: Methods for assessing nutritional status of patients with renal failure. *Am J Clin Nutr* 33:1567-1585, 1980
 - 29) Jeejeebhoy KN, Detsky AS, Baker JP: Assessment of nutritional status. *J Parenteral Enteral Nutr* 14(Suppl):S193-S196, 1990
 - 30) Lazarus JM: Nutrition in hemodialysis patients. *Am Kidney Dis* 21:99-105, 1993
 - 31) Chertow GM, Bullard A, Lazarus JM: Nutrition and the dialysis prescription. *Am J Nephrol* 16:79-89, 1996
 - 32) Schreiber MJ, Kawabe M, Cosentino F, Richmond B, Dennis V: Body composition and adequacy in peritoneal dialysis(Abstract). *J Am Soc Nephrol* 4:416, 1993
 - 33) Fine A, Cox D: Modest reduction of serum albumin in continuous ambulatory peritoneal dialysis patients is common and of no apparent clinical consequence. *Am Kidney Dis* 20:50-54, 1992
 - 34) Jones MR: Preventing malnutrition in the long-term peritoneal dialysis patient. *Semin Dial* 8:347-354, 1995
 - 35) Pritchard JE, Nowson CA, Strauss BJ, Carlson JS, Kaymakci B, Wark JD: Evaluation of dual energy X-ray absorptiometry as a method of measurement of body fat. *Eur J Clin Nutr* 47:216-228, 1993
 - 36) Svendsen OL, Haarbo J, Hassager C, Christiansen C: Accuracy of measurements of body composition by dual energy x-ray absorptiometry in vivo. *Am J Clin Nutr* 57:605-608, 1993
 - 37) Lynn R, Ginsberg N, Stall S, Bignol YF, Zabetakis P, DeVita M, Wang J, Pierson R, Ma R: A comparison of four methods for estimating fat-free mass(FFM) in dialysis patients (Abstract). *J Am Soc Nephrol* 5:497, 1994
 - 38) Stenver DI, Gotfredsen A, Hilsted J, Nielsen B: Body composition in hemodialysis patients measured by dual-energy x-ray absorptiometry. *Am J Nephrol* 15:105-110, 1995
 - 39) Brulez HFH, Roos J, Donker AJM, Wee PM: Lean body mass estimation by different techniques in healthy controls and peritoneal dialysis patients(Abstract). *J Am Soc Nephrol* 5:573, 1994
 - 40) Bergia R, Cravero R, Valenti M, Dionisio P, Stramignoni E, Pellerey M, Berto IM, Caramello E, Bajardi P: A comparison of four methods of estimating lean body mass in peritoneal dialysis patients. *Perit Dial Int* 15(Suppl):S36, 1995
 - 41) Nielsen PK, Laderfoged J, Olgaard K: Lean body mass by dual energy X-ray absorptiometry (DEXA) and by urine and dialysate creatinine recovery in CAPD and predialysis patients compared to normal subjects. *Adv Peritoneal Dial* 10:99-103, 1994
 - 42) Sheiner LB, Beal SL: Some suggestions for measuring predictive performance. *J Pharmacokinetic Biopharm* 9:503-512, 1981
 - 43) Van Itallie TB, Yang MU, Heymsfield SB, Funk

- RC, Boileau RA: *Height-normalized indices of the body's fat-free mass and fat mass: potentially useful indicators of nutritional status. Am J Clin Nutr 52:953-959, 1990*
- 44) Schreiber MJ: *Nutrition and dialysis adequacy. Perit Dial Int 15(Suppl):S39-S49, 1995*
- 45) Cosentino F, Dennis VW, Pexa D, Donatucci D: *Body composition analysis using dual energy X-ray absorptiometry(DEXA) scans in dialysis patients: Comparison to anthropometrics and longitudinal evaluation(Abstract). J Am Soc Nephrol 5:574, 1994*