

## 혈중 요산 농도와 상대 악력의 연관성: 국민건강영양조사 제7기(2016–2018)

인제대학교 의과대학 일산백병원 가정의학교실

서 유 빈·윤 영 숙

The Association between Serum Uric Acid and Relative Grip Strength:  
The 7th Korea National Health and Nutrition Examination Survey (2016–2018)

Yoo Bin Seo, Yeong Sook Yoon

Department of Family Medicine, Ilsan Paik Hospital, Inje University College of Medicine, Goyang, Korea

**Purpose:** Uric acid (UA) has both oxidative and antioxidant properties. The relationship between serum UA level and muscle strength is unclear. We aimed to investigate the relationship between serum UA level and relative hand grip strength (HGS) among male and female adults.

**Methods:** A cross-sectional study was performed evaluating participants in the 7th Korea National Health and Nutrition Examination Survey. A total of 16,495 (7,393 males and 9,102 females) were evaluated. Relative HGS was calculated as maximal absolute handgrip strength from both hands divided by body mass index. Linear regression analyses were performed to estimate the coefficients and 95% confidence intervals (CI) for relative HGS by quartiles of UA levels, adjusted for potential confounders.

**Results:** With adjustments, UA levels were negatively associated with relative HGS in both males (p-trend, <0.001) and females (p for trend, <0.001). In males, coefficients  $\beta$  (95% CI) for the 2nd, 3rd, and 4th quartile were respectively  $-0.03$  ( $-0.05$  to  $0.00$ ),  $-0.05$  ( $-0.08$  to  $-0.03$ ),  $-0.07$  ( $-0.09$  to  $-0.04$ ). In females, coefficients  $\beta$  (95% CI) for the 3rd and 4th quartile were  $-0.05$  ( $-0.03$  to  $0.00$ ) and  $-0.05$  ( $-0.06$  to  $-0.03$ ), respectively. When the participants were subdivided according to age, disease status, and renal function, the negative correlation between UA and HGS remained in most of the subgroups.

**Conclusion:** Serum UA is negatively associated with HGS in Korean males and females. Serum UA seems to be a deleterious factor for muscle strength, independent of the sex.

**Keywords:** Uric acid, Grip strength, Muscle strength, Oxidative stress

Received: July 19, 2021 Revised: August 29, 2021 Accepted: September 28, 2021

Correspondence: Yeong Sook Yoon

Department of Family Medicine, Ilsan Paik Hospital, Inje University College of Medicine, 170 Juhwa-ro, Ilsanseo-gu, Goyang 10380, Korea

Tel: +82-31-910-7115, Fax: +82-31-910-7024, E-mail: [ysyoon@paik.ac.kr](mailto:ysyoon@paik.ac.kr)

Copyright ©2022 The Korean Society of Sports Medicine

© 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.

## 서론

요산은 퓨린 뉴클레오티드 대사산물로서, 소수성(hydrophobic) 환경에서 산화제로 작용하여 세포 내에서 반응성 산소종의 축적과 세포와 조직의 기능부전을 야기할 수 있다<sup>1</sup>. 이러한 기전으로, 요산의 증가는 통풍 외에도 인슐린 저항성, 대사질환 및 심혈관질환과 연관이 있다는 사실이 밝혀져 왔다<sup>2</sup>. 반대로 친수성(hydrophilic) 환경에서는 요산이 자유 라디칼을 제거하는 강력한 항산화제이며, Maxwell 등<sup>3</sup>에 따르면 요산은 혈청 총 항산화능의 절반 이상을 담당하고 있다. 이러한 맥락에서 높은 요산 농도는 중추신경에 대한 보호 효과를 갖는다고 보고되기도 하였다<sup>4</sup>.

근력은 신체기능의 유지에 필수적이며 나이에 따라 감소한다<sup>5</sup>. 근육량 저하 및 근력의 약화로 정의되는 근감소(sarcopenia)는 삶의 질 저하와 관련이 있을 뿐 아니라<sup>6</sup>, 인슐린저항성 및 심혈관질환의 위험을 높이는 것으로 알려져 있다<sup>7</sup>. 근감소를 일으키는 중요한 기전으로 산화 스트레스가 알려져 있다<sup>8</sup>. 앞서 언급하였던 요산의 이중적 역할에 대한 선행 연구들을 바탕으로 요산이 근육에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 관심이 제기되었으며, 이에 대해 다양한 연구 결과들이 존재한다.

요산과 근력에 대해 음의 관계를 제시하는 연구들이 있었으며<sup>9,12</sup>, 반대로 양의 관계를 보여주는 연구도 있었다<sup>13-16</sup>. 40세 이상의 성인에서 실시된 한 단면 연구에서 요산 증가는 근감소증의 위험도를 높인다고 하였으며<sup>9</sup>, 65세 이상의 노인을 대상으로 한 코호트 연구에서는 고요산혈증과 신체기능 저하와의 연관성을 보였고<sup>10</sup>, 또 다른 코호트 연구는 60세 이상의 노인에서 요산 증가가 허약(frailty) 위험도를 높인다고 하였다<sup>11</sup>. 반면, 50세 이상 성인을 대상으로 한 중국과 미국에서의 단면 연구는 요산 증가에 따라 근력이 증가함을 보여주었고<sup>13,14</sup>, 평균 나이 93세의 고령의 노인에서 실시된 연구에서는 높은 혈중 요산 농도가 센 악력에 대한 독립적 인자임을 보여주기도 하였다<sup>15</sup>. 이처럼 요산 농도와 악력의 관계에 대한 단면 연구 및 코호트 연구의 결과가 상이하여 추가적인 연구가 필요하다. 또한 대부분의 선행 연구들은 40세 미만의 젊은 연령을 포함하지 않아, 모든 연령대에 적용하기에 제한이 있다. 그리고 혈중 요산 농도와 악력의 분포는 남성과 여성에서 다르므로, 요산과 악력의 연관성을 각 성별에서 평가해 볼 필요가 있다. 이에 대해서는 소수의 선행 연구만이 존재하는데, Kawamoto 등<sup>16</sup>의 연구에서는 여성에서만 양의 관계를 보였던 반면, 미국에서 시행된 National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) 자료로 50세 이상을 분석한 연구에서는 남녀 모두에서 양의 관계를 나타냈다<sup>14</sup>. 따라서 요산과 악력의 연관성에 대해 젊은 인구를 포함하여 남녀 각각에서 따로 분석해 볼

필요가 있다.

이에 본 연구는 국민건강영양조사 제7기 자료의 성인을 대상으로 각 성별에 따른 요산 농도와 악력의 관계를 알아보고자 한다. 또한 선행 연구에 근거하였을 때 악력의 절대값보다는 상대 악력이 근력을 더욱 잘 반영할 수 있는 지표이므로<sup>17</sup>, 본 연구에서는 악력을 체질량지수(body mass index, BMI)로 나눈 상대 악력을 종속변수로 하여 연구하였다.

## 연구 방법

### 1. 연구 대상

본 연구의 대상자는 제7기 1, 2, 3차년도(2016-2018)에 참여한 만 20세 이상의 성인 19,197명 중요산이 측정되지 않은 경우(1,520명), 악력검사를 시행하지 못한 경우(1,143명)는 배제하였으며, 사구체여과율(estimated glomerular filtration rate, eGFR) 30 mL/min/1.73 m<sup>2</sup> 미만인 자(39명)를 제외하고 총 16,495명(남성 7,393명, 여성 9,102명)을 최종 대상으로 하였다. 국민건강영양조사 제7기 중 1차년도 및 2차년도는 국가가 직접 공공복리를 위해 수행하는 연구에 해당하여 연구윤리심의위원회 심의를 받지 않고 수행하였으며, 3차년도는 질병관리본부 연구윤리심의위원회 승인을 받아 수행하였다(No. 2018-01-03-P-A).

### 2. 요산의 측정

혈액검사는 8시간 이상 공복을 유지한 상태에서 채혈지침에 따라 이루어졌으며 Hitachi Automatic Analyzer 7600-210 (Hitachi, Tokyo, Japan)를 이용하여 24시간 이내에 분석하였다. 본 연구에서 요산은 성별에 따라 분포별로 4분위로 나누어 범주형 변수로 정의하였다. 남성의 경우 4분위 구간은  $\leq 5.0$ , 5.1-5.8, 5.9-6.7,  $\geq 6.8$  mg/dL였으며, 여성은  $\leq 3.7$ , 3.8-4.3, 4.4-4.9,  $\geq 5.0$  mg/dL였다.

### 3. 악력과 상대 악력

악력은 디지털 악력계(digital grip strength dynamometer, T.K.K 5401; Takei Scientific Instruments, Nigata, Japan)를 이용하여 측정하였다. 양손 각각 3번씩 측정하였으며, 1회 측정 후 1분 간격으로 휴식시간을 갖도록 하였다. 본 연구에서는 양손의 악력 값 중 최대값을 사용하고, 악력을 BMI로 나눈 값을 상대 악력으로 정의하였다.

#### 4. 기타 변수

건강설문조사 및 김진조사, 영양조사를 통해 대상자의 인구학적 요소, 신체 계측, 만성질환, 건강 관련 행동, 영양 섭취에 대한 정보를 수집하였다. 인구학적 요소로 나이, 소득수준을 포함하였으며, 소득 정도는 가구 수입을 각각 ‘상’, ‘중상’, ‘중하’, ‘하’로 분류하였다. 신장(cm), 체중(kg)은 모두 소수 첫 번째 자리까지 측정하였으며, BMI는 체중(kg)/신장(m<sup>2</sup>)으로 계산하였다.

흡연은 현재 흡연 여부로 흡연자와 비흡연자로 분류하였으며, 음주는 최근 1년 동안 한 달에 1회 이상 술을 마신 적이 있다고 응답한 경우를 음주자로 정의하였다. 유산소 신체활동은 일주일에 중강도 신체활동을 2시간 30분 이상, 또는 고강도 신체활동을 1시간 15분 이상, 또는 중강도와 고강도 신체활동을 섞어서 각 활동에 상당하는 시간(고강도 1분은 중강도 2분) 실천 여부로 분류하였으며, 근력운동 일수는 1주일간 근력운동을 시행한 일수로 조사하였다. 하위 그룹 분석에서 적절한 근력운동 일수의 기준은 2일 이상으로 하였다.

혈당과 총 콜레스테롤, 고밀도 콜레스테롤, 중성지방, 저밀도 콜레스테롤은 12시간 이상의 공복상태에서 Hitachi Automatic Analyzer 7600-210 장비로 측정하였다. 고감도 C-반응성 단백(high sensitivity C-reactive protein, hs-CRP)은 Cobas (Roche, Basel, Germany) 장비를 이용하여 측정하였다. 혈중 크레아티닌 농도는 Hitachi Automatic Analyzer 7600-210 장비로 측정하였으며, eGFR은 혈중 크레아티닌 농도를 이용하여 Modification of Diet in Renal Disease 공식을 통해 산출하였다.

비만의 기준은 BMI 25 kg/m<sup>2</sup> 이상으로 하였다. 만성질환 이환 상태 항목으로 고혈압, 당뇨병, 고지혈증, 암, 관절염을 포함하였다. 고혈압은 수축기 혈압이 140 mm Hg 이상, 또는 이완기 혈압이 90 mm Hg 이상, 또는 고혈압 약물을 복용한 사람으로 정의하였다. 공복 혈당이 126 mg/dL 이상이거나, 의사진단을 받았거나, 혈당강하제를 복용하거나, 인슐린 주사를 투여 받고 있는 경우를 당뇨병으로 분류하였다. 고지혈증은 총 콜레스테롤이 240 mg/dL 이상이거나 지질강하제를 복용하고 있는 사람으로 정의하였다. 관절염은 현재 골관절염 또는 류마티스성 관절염 유병 여부에 ‘예’로 응답한 사람으로, 암은 의사 진단 여부에 ‘예’로 응답한 사람으로 조사하였다.

영양조사는 24시간 회상법으로 조사하였고 1일 에너지 섭취량(kcal), 1일 단백질 섭취량(g)을 포함하였다. 적정 단백질 섭취 여부는 세계보건기구의 권고 기준에 따라 단위 체중당 0.8 g 이상의 단백질 섭취 여부로 분류하였다<sup>18</sup>.

#### 5. 통계 분석

자료 분석을 위해 IBM SPSS version 25.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 사용하였으며, 모든 분석에서 가설 검정을 위한 통계적 유의성은 p<0.05를 기준으로 하였다. 본 연구는 국민건강영양조사 분석지침에 따라 원시자료의 복합표본 설계특성을 고려하여 분석하였다. 연속형 변수는 평균과 표준편차, 범주형 변수는 비율(%)로 제시하였다. 대상자는 성별에 따라 나누어 각 요산 구간에 따른 특성을 비교하였으며, 범주형 변수에서는 카이제곱 검정을, 연속형 변수에서는 분산분석을 사용하였다.

각 성별에서 요산과 악력의 연관성을 파악하기 위해 요산 구간을 독립 변수, 악력을 종속변수로 선정하여 교란변수들을 단계별로 보정한 다중 선형회귀분석을 시행하였다. Model 1에서는 나이와 소득을 보정하였으며 model 2에서는 추가적으로 BMI, 고혈압, 당뇨, 고지혈증, 관절염, 암, 흡연 및 음주, 유산소운동, 근력운동 일수, 일일 에너지 섭취량 및 단백질 섭취량을 보정하였고, 최종적으로 model 3에서는 hs-CRP와 eGFR을 추가로 보정하였다. 교란변수를 보정한 상태에서 선형 관계에 대한 통계적 유의성을 파악하기 위해 경향 분석(trend analysis)을 통해 p for trend를 구하였다.

마지막으로, 나이, 만성질환, 건강행태 특성에 따라 요산과 악력 연관성에 차이가 있는지 파악하기 위하여 나이대별(50세 기준), 만성질환 유무, 건강행태 분류에 따라 하위 그룹 분석을 시행하였다.

### 결 과

#### 1. 각 성별에서 요산 구간에 따른 일반적 특성

연구 대상자 총 16,495명(남성 7,393명, 여성 9,102명)이 분석대상에 포함되었다. 만 나이는 남성은 평균 46.3±0.29세, 여성은 47.95±0.28세였다. 요산의 평균 및 표준오차는 남성에서 5.95±0.02 mg/dL, 여성에서 4.40±0.01 mg/dL였다. 악력의 평균 및 표준오차는 남성에서 40.79±0.14 kg, 여성에서 23.79±0.09 kg이었다.

각 성별에서 요산 구간에 따른 인구학적 및 건강 관련 특성을 Table 1에 제시하였다. 남성의 경우 요산 구간이 증가함에 따라 평균 나이가 각각 52.2세, 46.5세, 44.2세, 42.7세로 점차 낮아졌으며, 요산 구간 Q1, Q2보다 Q3, Q4에서 소득 ‘상’의 비율이 높고 소득 ‘하’ 비율이 낮았다. 요산이 증가함에 따라 BMI, 고지혈증 유병률은 증가했고, 당뇨 유병률, 관절염, 암 유병률은 감소했다.

**Table 1.** Characteristics of study participants by quartiles of serum uric acid

Characteristic	Male				Female				p-value
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	
Age (yr)	52.2±0.5	46.5±0.5	44.2±0.5	42.7±0.5	47.9±0.5	47.6±0.5	47.1±0.5	49.2±0.5	0.002
Income (%)									0.081
Low	16.9	12.8	11.9	11.1	15.8	14.8	15.2	18.9	
Low medium	23.7	23.1	19.5	23.1	22.7	25.0	24.4	24.7	
High medium	29.0	29.2	31.2	30.1	29.6	29.6	29.2	27.0	
High	30.2	34.9	37.5	35.7	32.0	30.6	31.2	29.4	
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	23.7±0.1	24.1±0.1	24.8±0.1	25.8±0.1	22.2±0.1	23.0±0.1	23.3±0.1	24.6±0.1	<0.001
Hypertension (%)	33.6	28.4	27.9	34.2	19.0	19.5	22.0	32.6	<0.001
Diabetes (%)	20.2	10.5	7.1	7.7	7.9	7.4	8.1	11.7	<0.001
Hyperlipidemia (%)	19.4	16.0	16.4	21.2	17.1	19.9	21.7	27.3	<0.001
Arthritis (%)	5.4	3.6	2.7	2.9	13.5	11.6	12.9	15.4	0.010
Cancer (%)	4.5	2.7	2.5	1.8	5.1	5.1	5.1	6.0	0.650
Smoking status (%)	37.1	33.0	35.1	35.7	3.9	5.3	6.1	7.8	<0.001
Alcohol (%)	65.7	69.6	76.2	77.8	41.6	44.8	48.7	47.8	<0.001
Physical activity (%)	45.9	52.0	50.7	53.4	42.2	44.5	44.9	45.8	0.224
Resistance exercise (day/wk)	1.04	1.13	1.12	1.14	0.48	0.58	0.55	0.62	0.044
Daily intake (kcal/day)	2,285±27.1	2,425±30.7	2,439±30.2	2,401±34.5	1,689±18.0	1,697±19.3	1,704±20.2	1,669±19.5	0.597
Protein intake (g/day)	81.4±1.2	88.8±1.5	88.4±1.3	87.9±1.5	60.4±0.8	60.0±0.8	60.8±0.9	60.4±0.9	0.920
hs-CRP (mg/L)	1.25±0.07	1.15±0.06	1.12±0.05	1.42±0.06	0.95±0.05	0.93±0.04	1.01±0.04	1.32±0.04	<0.001
eGFR (mL/min/1.73 m <sup>2</sup> )	97.2±0.7	95.4±0.5	94.1±0.5	91.3±0.6	105.9±0.6	101.8±0.5	99.5±0.6	94.4±0.6	<0.001
Handgrip strength (kg)	39.5±0.2	40.7±0.2	41.2±0.2	41.6±0.3	23.6±0.1	24.1±0.1	23.9±0.1	23.5±0.1	0.002
Relative handgrip strength (kg/BMI)	1.68±0.01	1.71±0.01	1.68±0.01	1.64±0.01	1.08±0.01	1.07±0.01	1.05±0.01	0.98±0.01	<0.001

Values are presented as mean±standard error or percentage.

BMI: body mass index, hs-CRP: high sensitivity C-reactive protein, eGFR: estimated glomerular filtration ratio.

Quartiles of serum uric acid (mg/dL): Q1, the 1st quartile (5.0 in males and 3.7 in females); Q2, the 2nd quartile (5.1–5.8 in males and 3.8–4.3 in females); Q3, the 3rd quartile (5.9–6.7 in males and 4.4–4.9 in females); Q4, the 4th quartile (6.8 in males and 5.0 in females).

Analysis of variance was used for continuous variables and the chi-square analysis was used for categorical variables.

**Table 2.** Multiple linear regression for relative handgrip strength according to quartiles of serum uric acid

Model	Male					Female				
	Q1	Q2	Q3	Q4	P for trend	Q1	Q2	Q3	Q4	P for trend
Crude model	Ref	0.02 (-0.01 to 0.05)	-0.01 (-0.03 to 0.02)	-0.52* (-0.08 to -0.02)	<0.001	Ref	-0.01 (-0.03 to 0.00)	-0.03* (-0.05 to -0.01)	-0.11* (-0.12 to -0.09)	<0.001
Model 1	Ref	-0.02 (-0.05 to 0.01)	-0.07* (-0.09 to -0.04)	-0.12* (-0.15 to -0.01)	<0.001	Ref	-0.02 (-0.03 to 0.00)	-0.04* (-0.05 to -0.02)	-0.09* (-0.11 to -0.08)	<0.001
Model 2	Ref	-0.01 (-0.04 to 0.01)	-0.03* (-0.06 to -0.01)	-0.04* (-0.07 to -0.02)	<0.001	Ref	0.01 (-0.01 to 0.02)	-0.01 (-0.02 to 0.01)	-0.03* (-0.05 to -0.01)	<0.001
Model 3	Ref	-0.03* (-0.05 to 0.00)	-0.05* (-0.08 to -0.03)	-0.07* (-0.09 to -0.04)	<0.001	Ref	0.00 (-0.02 to 0.01)	-0.02* (-0.03 to 0.00)	-0.05* (-0.06 to -0.03)	<0.001

Values are presented as  $\beta$  coefficients (95% confidence interval) for relative grip strength.

Ref: reference. Quartiles of serum uric acid (mg/dL): Q1, the 1st quartile (5.0 in males and 3.7 in females); Q2, the 2nd quartile (5.1–5.8 in males and 3.8–4.3 in females); Q3, the 3rd quartile (5.9–6.7 in males and 4.4–4.9 in females); Q4, the 4th quartile (6.8 in males and 5.0 in females).

Model 1: adjusted for age, income; model 2: further adjusted for hypertension, diabetes, hyperlipidemia, cancer, arthritis, smoking status, alcohol intake, daily intake (kcal/day), protein intake (g/day), physical activity, and resistance exercise (day/week); model 3: further adjusted for high sensitivity C-reactive protein (mg/L) and estimated glomerular filtration ratio (mL/min/1.73 m<sup>2</sup>).

\*Significant value.

요산이 가장 낮은 Q1군에서 1일 에너지 섭취량과 단백질 섭취량이 낮았고, eGFR은 요산이 증가함에 따라 낮아졌다. 흡연율과 근력운동일수는 요산 구간별 유의한 차이를 보이지 않았다. 여성에서, Q4에서 평균나이가 49.2세로 가장 높았으며, BMI는 Q1-Q4에서 순차적으로 높아졌다. 고혈압, 당뇨, 고지혈증 유병률, 흡연자 비율과 음주자 비율, hsCRP는 요산이 증가함에 따라 높아졌고, eGFR은 낮아졌다. 가구 소득, 암 유병률, 유산소 신체활동, 1일 에너지 섭취량, 단백질 섭취량은 요산 구간별 유의한 차이를 보이지 않았다.

남성의 약력은 요산 농도의 각 구간에 따라 39.5, 40.7, 41.2, 41.6 kg로 나타났으며(p<0.001), 약력을 BMI로 나누어 산출한 상대 약력은 각각 1.68, 1.71, 1.68, 1.64 kg/BMI로 나타났다(p<0.001). 여성에서 약력은 요산 농도의 각 구간에 따라 23.6, 24.1, 23.9, 23.5 kg로 나타났으며(p<0.001), 약력을 BMI로 나누어 산출한 상대 약력은 각각 1.08, 1.07, 1.05, 0.98 kg/BMI로 나타났다(p<0.001).

## 2. 혈중 요산 농도와 상대 약력의 관계

요산 구간을 독립변수로, 상대 약력을 종속변수로 하여 단순 선형회귀분석과, 교란변수의 보정을 실시한 다변량 선형회귀분석을 실시하였다(Table 2). 요산 각 구간(Q1-Q4)에서의 회귀 계수( $\beta$  coefficient)와, 유의한 선형 관계를 의미하는 'p for trend'를 함께 제시하였다.

남성의 경우 단순 회귀분석에서 요산과 상대 약력은 유의한 음의 선형 관계를 나타냈으며(p for trend, <0.001), Q1과 비교하여 Q4에서의 상대 약력이 유의하게 감소하였다( $\beta$  coefficient [95% confidence interval], -0.52 [-0.08 to -0.02]). 인구학적 요인인 나이와 소득을 보정한 model 1에서 Q1과 비교하여 Q3 (-0.07 [-0.09 to -0.04]), Q4 (-0.12 [-0.15 to -0.01])에서 상대 약력 감소를 보였으며(p for trend, <0.001), 건강 관련 요인을 추가로 보정한 model 2에서는 Q3 (-0.03 [-0.06 to -0.01]), Q4 (-0.04 [-0.07 to -0.02])에서 요산 증가에 따른 상대 약력의 감소를 보였다(p for trend, <0.001). 최종적으로 hsCRP와 eGFR을 추가로 보정한 model 3에서, Q2 (-0.03 [-0.05 to 0.00]), Q3 (-0.05 [-0.08 to -0.03]), Q4 (-0.07 [-0.09 to -0.04])로 요산과 상대 약력은 유의한 음의 선형 관계를 나타냈다(p for trend, <0.001).

여성의 경우에는 보정 전 분석에서 Q1에 비하여 Q3 (-0.03 [-0.05 to -0.01]), Q4 (-0.11 [-0.12 to -0.09])에서 상대 약력의 감소를 보였다. Model 1에서는 Q1을 기준으로 Q3 (-0.04 [-0.05 to -0.02]), Q4 (-0.09 [-0.11 to -0.08])에서 상대 약력이 감소했고(p for trend, <0.001), model 2에서는 Q4 (-0.09 [-0.11 to -0.08])

에서 유의한 상대 약력 감소가 나타났다(p for trend, <0.001). 최종적으로 model 3에서는 Q1을 기준으로 Q3 (-0.04 [-0.05 to -0.02]), Q4 (-0.09 [-0.11 to -0.08])에서 요산 증가에 따른 상대 약력의 감소를 보였다(p for trend, <0.001).

## 3. 인구학적 요인 및 건강 관련 요인에 따른 요산과 약력의 관계

추가적으로, 요산과 약력의 관계가 나이에 따라, 그리고 건강 관련 요인(비만 및 대사질환 유무, 건강 관련 행동, 단백질 섭취, eGFR)에 따라 달라지는지 확인하기 위하여 각 하위 집단별 다변량 회귀분석을 실시하였다. 또한, 각 요인의 교호작용을 확인하였으며 그 결과(p for interaction)를 Table 3에 제시하였다. 남성 및 여성에서 나이대(50세 기준), 대사질환 유무, 음주 여부, 운동, 단백질 섭취에 따른 교호작용은 없었으며 요산과 약력은 대부분의 하위 그룹에서 음의 선형 관계를 나타냈다. 그러나 여성에서는 흡연에 따른 교호작용이 확인되었다(p interaction=0.006).

## 고 찰

본 연구는 20세 이상의 모든 성인을 남녀로 나누어 요산과 상대 약력의 관계를 분석한 첫 연구로서, 우리나라의 대표성 있는 자료인 제7기 국민건강영양조사를 바탕으로 하였다. 그 결과 남성과 여성 모두에서 교란변수를 모두 보정하였을 때, 성별에 따른 요산 4분위 구간의 증가에 따라 상대 약력이 감소하는 음의 선형 관계가 나타났다.

각 성별에서 요산 구간에 따른 일반적 특성을 살펴보면, 여성의 경우 요산이 가장 높은 군에서 평균 나이가 가장 높았던 반면 남성은 요산 구간이 증가할수록 평균 나이가 낮아졌다. 이에 대해 이전 연구와 직접적 비교는 어렵지만, NHANES를 활용한 García-Esquinas 등<sup>19</sup>의 연구에서도 나이대별로 20-40세 구간의 젊은 인구에서는 상대적으로 요산이 높은 그룹(3rd tertile)에서 남성의 비율이 많았고, 40-60세, 60세 이상으로 갈수록 요산이 낮은 그룹에서 남성 비율이 많았다<sup>19</sup>. 남녀 모두에서 BMI 및 고지혈증의 유병률, 여성에서 고혈압 유병률은 요산 구간 증가에 따라 증가하였으며, eGFR 또한 요산 구간 증가에 따라 증가하였는데 이는 선형 연구에서 밝혀진 일반적 사실과 일치한다<sup>2,20</sup>. 다만 남성에서는 당뇨의 유병률이 요산 구간 증가에 따라 감소하였다. 이에 대해 당뇨는 다른 대사질환과는 달리 혈중 요산 농도와 음의 관계를 가진다고 보고하였던 연구들이 있으며, 원인으로서는 높은 혈당이 신장 근위 세뇨관에서 요산의 재흡수를 억제하여

**Table 3.** Multiple linear regression for relative handgrip strength according to serum uric acid, stratified by age, BMI, and health-related factors

Variable	Male					Female					
	Q1	Q2	Q3	Q4	p for trend	Q1	Q2	Q3	Q4	p for trend	p for interaction
Age (yr)											
< 50	Ref	-0.05* (-0.86 to 0.00)	-0.13* (-0.17 to -0.09)	-0.19* (-0.23 to -0.15)	<0.001	Ref	-0.03* (-0.06 to -0.01)	-0.04* (-0.06 to -0.01)	-0.10** (-0.13 to -0.08)	<0.001	0.264
≥ 50	Ref	-0.05* (-0.08 to -0.02)	-0.06* (-0.09 to -0.02)	-0.07* (-0.10 to -0.03)	<0.001	Ref	-0.01 (-0.04 to 0.01)	-0.05* (-0.07 to -0.03)	-0.08* (-0.11 to -0.06)	<0.001	
BMI (kg/m <sup>2</sup> )											
≥ 25	Ref	-0.02 (-0.06 to 0.02)	-0.04* (-0.08 to 0.00)	-0.10* (-0.14 to -0.06)	<0.001	Ref	0.02 (-0.02 to 0.05)	-0.02 (-0.05 to 0.01)	-0.06* (-0.08 to -0.03)	<0.001	0.214
< 25	Ref	-0.05* (-0.09 to 0.02)	-0.10* (-0.13 to -0.06)	-0.10* (-0.13 to -0.06)	<0.001	Ref	-0.02* (-0.04 to -0.01)	-0.04* (-0.06 to -0.02)	-0.07* (-0.09 to -0.05)	<0.001	
Hypertension											
Yes	Ref	-0.04 (-0.08 to 0.01)	-0.11* (-0.15 to -0.06)	-0.12* (-0.17 to -0.07)	<0.001	Ref	-0.03* (-0.05 to -0.01)	-0.04* (-0.06 to -0.02)	-0.10* (-0.12 to -0.08)	<0.001	0.294
No	Ref	-0.05* (-0.08 to -0.02)	-0.10* (-0.13 to -0.07)	-0.17* (-0.21 to -0.13)	<0.001	Ref	-0.02 (-0.04 to 0.02)	-0.06* (-0.10 to -0.03)	-0.11* (-0.14 to -0.08)	<0.001	
Diabetes											
Yes	Ref	-0.07* (-0.12 to -0.01)	-0.13* (-0.20 to -0.06)	-0.13* (-0.21 to -0.06)	0.003	Ref	0.00 (-0.06 to 0.05)	-0.04 (-0.10 to 0.01)	-0.08* (-0.13 to -0.03)	0.001	0.744
No	Ref	-0.04* (-0.08 to -0.01)	-0.10* (-0.13 to -0.07)	-0.16* (-0.19 to -0.12)	<0.001	Ref	-0.03* (-0.05 to -0.01)	-0.05* (-0.07 to -0.03)	-0.11* (-0.13 to -0.09)	<0.001	
Hyperlipidemia											
Yes	No	-0.06 (-0.12 to -0.01)	-0.11* (-0.16 to -0.06)	-0.13* (-0.19 to -0.08)	<0.001	Ref	0.00 (-0.04 to 0.03)	-0.02 (-0.05 to 0.01)	-0.07* (-0.10 to -0.04)	<0.001	0.258
No	Ref	-0.04* (-0.07 to -0.01)	-0.10* (-0.13 to -0.07)	-0.16* (-0.19 to -0.12)	<0.001	Ref	-0.03* (-0.05 to -0.01)	-0.06* (-0.08 to -0.04)	-0.11* (-0.14 to -0.09)	<0.001	
Smoking											
Yes	Ref	-0.02 (-0.06 to 0.03)	-0.09* (-0.13 to -0.05)	-0.13* (-0.18 to -0.09)	0.033	Ref	0.09 (0.00 to 0.19)	0.08 (-0.01 to 0.16)	0.02 (-0.07 to 0.10)	0.758	0.006
No	Ref	-0.06* (-0.10 to -0.03)	-0.11* (-0.14 to -0.08)	-0.17* (-0.21 to -0.13)	<0.001	Ref	-0.03* (-0.05 to -0.01)	-0.05* (-0.07 to -0.04)	-0.11* (-0.13 to -0.09)	<0.001	

Table 3. Continued

Variable	Male				Female					
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	p for trend	p for interaction
Alcohol										
Yes	Ref	-0.05* (-0.08 to -0.01)	-0.09* (-0.12 to -0.06)	-0.15* (-0.19 to -0.12)	Ref	-0.03 (-0.05 to 0.00)	-0.04* (-0.07 to -0.02)	-0.10* (-0.12 to -0.07)	<0.001	0.803
No	Ref	-0.05* (-0.11 to 0.00)	-0.14* (-0.20 to -0.08)	-0.16* (-0.23 to -0.10)	Ref	-0.03 (-0.05 to 0.00)	-0.05* (-0.08 to -0.03)	-0.11* (-0.13 to -0.09)	<0.001	
Adequate physical activity										
Yes	Ref	-0.05* (-0.08 to -0.01)	-0.09* (-0.13 to -0.06)	-0.14* (-0.18 to 0.10)	Ref	-0.03* (-0.06 to 0.00)	-0.05* (-0.08 to -0.03)	-0.11* (-0.14 to -0.08)	<0.001	0.890
No	Ref	-0.05* (-0.08 to -0.01)	-0.11* (-0.15 to -0.07)	-0.17* (-0.21 to -0.13)	Ref	-0.02* (-0.04 to 0.00)	-0.04* (-0.06 to -0.02)	-0.10* (-0.12 to -0.07)	<0.001	
Adequate resistance exercise										
Yes	Ref	-0.03 (-0.07 to 0.02)	-0.05* (-0.10 to -0.01)	-0.13* (-0.18 to -0.08)	Ref	-0.02 (-0.06 to 0.02)	-0.02 (-0.06 to 0.02)	-0.07* (-0.12 to -0.03)	0.003	0.952
No	Ref	-0.05* (-0.09 to -0.02)	-0.12* (-0.15 to -0.09)	-0.16* (-0.20 to -0.13)	Ref	-0.03* (-0.04 to -0.01)	-0.05* (-0.07 to -0.03)	-0.11* (-0.13 to -0.09)	<0.001	
Adequate protein intake										
Yes	Ref	-0.04* (-0.07 to -0.01)	-0.09* (-0.12 to -0.05)	-0.15* (-0.18 to -0.11)	Ref	-0.02 (-0.04 to 0.00)	-0.04 (-0.06 to -0.02)	-0.09* (-0.12 to -0.07)	<0.001	0.466
No	Ref	-0.05 (-0.10 to 0.00)	-1.13* (-0.19 to -0.08)	-0.14* (-0.19 to -0.09)	Ref	-0.02 (-0.05 to 0.00)	-0.05 (-0.08 to 0.02)	-0.11 (-0.14 to -0.08)	<0.001	
eGFR (mL/min/1.73 m <sup>2</sup> )										
≥60	Ref	-0.05* (-0.08 to -0.02)	-0.10* (-0.13 to -0.07)	-0.15* (-0.18 to -0.12)	Ref	-0.03* (-0.04 to -0.01)	-0.05* (-0.07 to -0.03)	-0.10* (-0.12 to -0.08)	<0.001	0.135
<60	Ref	0.07 (-0.07 to 0.20)	-0.06 (-0.19 to 0.06)	0.01 (-0.12 to 0.15)	Ref	-0.10 (-0.27 to 0.07)	-0.09 (-0.23 to 0.05)	-0.18* (-0.29 to -0.08)	0.003	

Values are presented as  $\beta$  coefficients (95% confidence interval) for relative grip strength.

Ref: reference, BMI: body mass index, eGFR: estimated glomerular filtration ratio.

Adjusted for age, income, hypertension, diabetes, hyperlipidemia, cancer, arthritis, smoking status, alcohol intake, daily intake (kcal/day), protein intake (g/day), physical activity and resistance exercise (day/week), high sensitivity C-reactive protein (mg/L), and eGFR (mL/min/1.73 m<sup>2</sup>).

Quartiles of serum uric acid (mg/dL): Q1, the 1st quartile (5.0 in males and 3.7 in females); Q2, the 2nd quartile (5.1–5.8 in males and 3.8–4.3 in females); Q3, the 3rd quartile (5.9–6.7 in males and 4.4–4.9 in females); Q4, the 4th quartile (6.8 in males and 5.0 in females).

\*Significant value.

요산 농도를 낮춘다고 설명하였다<sup>21,22</sup>.

혈중 요산 농도와 근력은 모두 성별에 따라 다른 분포를 보이므로, 요산과 악력의 관계가 각 성별에 따라 다르게 나타날 수 있을 가능성이 존재한다. 이에 따라 본 연구에서는 요산과 상대 악력의 관계를 남녀로 나누어 분석하였다. 그 결과, 남성에서 보정 전과 후 모두 요산과 상대 악력이 유의한 음의 용량 반응 관계를 나타내었다. 여성에서도 마찬가지로 요산과 상대 악력은 보정 전과 후 모델에서 유의한 음의 관계를 보였다. 이는 성별에 관계 없이 요산이 근력 감소에 독립적으로 영향을 미치는 인자로 작용할 수 있음을 시사한다.

몇몇 선행 연구가 본 연구와 일치하는 결과를 보여준다. Beaver 등<sup>9</sup>의 연구에서 7,544명의 40세 이상 성인을 대상으로 요산 증가에 대한 근감소증의 로지스틱 회귀분석을 시행한 결과 혈중 요산이 1 mg/dL 증가할 때마다 근감소증에 대한 교차비가 1.12로 나타났으며, 혈중 요산 농도 >8 mg/dL에 속한 집단은 6 mg/dL 미만인 집단보다 근감소증에 대한 위험이 2.0배라고 보고하였다. Veronese 등<sup>10</sup>은 65세 이상의 이탈리아인 1,904명에 대해 4.4년간 추적 관찰한 코호트 연구에서 고요산혈증이 신체기능 저하와 유의한 연관성을 보인다고 보고하였다. 60세 이상의 노인을 대상으로 실시한 한 코호트 연구에서는 주관적 피로, 신체활동 정도, 보행속도, 악력으로 구성된 허약(frailty) 정도를 요산에 따라 평가하였고, 높은 요산 혈중 농도와 허약 위험도 간의 양의 상관관계를 제시했다<sup>11</sup>. 40-88세의 성인에서 근력과 요산의 관계를 분석한 Park 등<sup>12</sup>의 국내 단면 연구에서는, 남녀 모두에서 악력과 각력이 높은 집단에서 고요산혈증에 대한 교차비가 낮아진다고 보고하였다.

혈중 요산 농도와 악력이 음의 관계를 보이는 것에 대해 몇 가지 기전들이 제시되어 왔다. 첫째, 앞서 언급하였듯 요산은 다양한 만성질환과 연관이 있는데, 심혈관질환, 대사증후군, 신기능 저하 등은 근력 저하와 관련이 있다고 알려져 있다. 그러나 본 연구에서는 다양한 대사질환 및 만성질환 유무, eGFR을 보정한 후에도 요산과 상대 악력이 음의 선형 관계를 나타냈으며, 따라서 동반된 신체적 상황 외에 요산 자체가 매개하는 기전이 존재함을 시사한다. 둘째, 요산은 근감소와 관련이 있는 CRP, interleukin-6이나 tumor necrosis factor alpha와 같은 특정 염증성 사이토카인과 관련이 있다는 실험연구 및 역학연구가 있다<sup>23</sup>. 염증성 사이토카인은 직접적으로 근육의 이화작용을 일으키기도 하지만, 인슐린 저항성 증가, 성장 호르몬 감소를 촉진하기도 한다. 셋째, 세포 내 요산은 산화 스트레스를 유도하여 근섬유의 양적인 감소와 기능 악화에 영향을 줄 수 있다<sup>24</sup>. 넷째, 동물과 인간을 대상으로 한 연구에서 요산은 근력을 조절하는 데 중요한

호르몬으로 밝혀진 vitamin D의 생산을 저해하는 역할을 한다는 사실이 보고되었다<sup>24</sup>.

앞선 연구와 달리, 몇몇 연구에서는 요산이 근감소에 대해 보호 효과를 갖는다고 하였다. 50세 또는 60세 이상의 고연령대를 대상으로 시행된 몇몇 선행 연구에서는 요산과 악력 간에 양의 상관관계가 있다고 보고하였다. 50세 이상의 성인을 대상으로 중국에서 시행한 단면 연구와, 같은 연령대의 성인을 대상으로 미국의 연구에서 각각 요산이 증가할수록 근력이 증가하는 결과를 나타냈다<sup>13,14</sup>. Molino-Lova 등<sup>15</sup>은 평균 나이 93세의 이탈리아 노인에서 요산과 근력의 양의 관계를 보고하였으며, Kawamoto 등<sup>16</sup>의 연구에서는 평균 나이 72세 일본 여성 노인에서 비슷한 결과를 제시하였다. 이에 대한 기전으로, 요산이 혈청에서 중요한 항산화물질로 기능하는 것이 알려져 있으며, 주로 뇌졸중이나 파킨슨병과 같은 신경퇴행성 질환에서 요산의 항산화 작용 및 보호 효과가 보고되어왔다<sup>25</sup>.

García-Esquinas 등<sup>19</sup>의 NHANES 데이터를 이용한 연구에서는 나이대별로 요산과 근력에 대한 연관성이 다르게 나타난다고 보고하였는데, 20-40세에서는 음의 관계, 60세 이상에서는 양의 관계를 보여 젊은 연령대에서만 본 연구와 일치하는 결과를 보였다. 본 연구에서도 요산과 악력의 관계가 나이대별로 달라지는지 확인하기 위하여 각 성별에서 50세를 기준으로 나누어 다변량 회귀분석을 시행하였다. 기준을 50세로 설정한 이유는 선행 연구에 근거하여 50세부터 유의하게 근력의 감소가 관찰되며<sup>26</sup>, 이에 따라 50세를 기준으로 요산이 근력에 미치는 영향의 변화가 있을 가능성이 있기 때문이다. 분석 결과 나이에 따른 교호작용은 없었으며(p interaction, >0.05), 표에는 제시하지 않았지만 60세 이상의 남녀에서 다변량 회귀분석을 실시했을 때에도 요산과 악력은 유의한 음의 선형 관계를 보였다. 그 외 하위 그룹 분석에서 대부분에서 일관성 있게 음의 선형 관계를 나타냈으나 여성에서 흡연에 따른 교호작용이 확인되었다. 비흡연군과 달리 흡연군에서는 Q2, Q3에서의 악력이 Q1, Q4보다 높은 ‘역 J형(inverted J shape)’ 관계를 보였다. 담배는 다양한 반응성 산소종 및 자유라디칼을 포함하므로<sup>27</sup>, 이로 인한 흡연자와 비흡연자에서의 체내 산화 스트레스 정도 차이가 요산과 악력의 관계에 영향을 주었을 가능성이 있다.

본 연구는 몇 가지 제한점을 가지고 있다. 본 연구는 단면 연구설계로 인하여 명확한 인과관계를 설명하기 어렵다. 또한 국민건강영양조사에서 대상자의 요산 농도에 영향을 줄 수 있는 요산 저하 약제 복용 여부에 대한 조사 항목은 없었으므로, 해당 약제를 복용 중인 인구가 대상자에 포함되어 요산과 악력이 음의 연관성을 갖는 본 연구의 결과를 일부 상쇄시켰을 가능성이 있다.

그리고 산화 스트레스의 생화학적 지표가 평가되지 않아, 요산과 약력의 연관성을 산화적 스트레스가 매개하는지를 명확히 밝힐 수 없다. 그럼에도 불구하고 본 연구는 국내의 대표성 있는 자료를 바탕으로 대규모 인구를 대상으로 가능한 모든 교란변수를 보정하여 결과를 도출하였다는 데 의의가 있다. 향후 요산과 약력의 관계를 설명할 수 있는 기전을 밝히기 위해 추가적인 전향적 연구가 필요할 것으로 생각된다.

본 연구에서는 20세 이상의 성인에서 요산과 상대 약력은 음의 연관성이 있었으며, 남녀 모두에서 요산이 증가할수록 상대 약력이 낮아지는 용량 반응 관계를 보였다. 이는 요산이 성별에 관계 없이 근력 감소에 영향을 주는 독립적인 인자로 작용할 수 있음을 시사한다.

### Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

### ORCID

Yoo Bin Seo <https://orcid.org/0000-0001-8116-1110>

Yeong Sook Yoon <https://orcid.org/0000-0002-9249-2940>

### Author Contributions

Conceptualization: YBS. Writing—original draft: YBS. Writing—review & editing: YSY.

### References

1. Lanaspá MA, Sanchez-Lozada LG, Choi YJ, et al. Uric acid induces hepatic steatosis by generation of mitochondrial oxidative stress: potential role in fructose-dependent and -independent fatty liver. *J Biol Chem* 2012;287:40732-44.
2. Nakagawa T, Hu H, Zharikov S, et al. A causal role for uric acid in fructose-induced metabolic syndrome. *Am J Physiol Renal Physiol* 2006;290:F625-31.
3. Maxwell SR, Thomason H, Sandler D, et al. Antioxidant status in patients with uncomplicated insulin-dependent and non-insulin-dependent diabetes mellitus. *Eur J Clin Invest* 1997;27:484-90.
4. Chamorro A, Amaro S, Castellanos M, et al. Safety and efficacy of uric acid in patients with acute stroke (URICO-ICTUS): a randomised, double-blind phase 2b/3 trial. *Lancet Neurol* 2014;13:453-60.
5. Metter EJ, Conwit R, Tobin J, Fozard JL. Age-associated loss of power and strength in the upper extremities in women and men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 1997;52:B267-76.
6. Tsekoura M, Kastrinis A, Katsoulaki M, Billis E, Gliatis J. Sarcopenia and its impact on quality of life. *Adv Exp Med Biol* 2017;987:213-8.
7. Timpka S, Petersson IF, Zhou C, Englund M. Muscle strength in adolescent men and risk of cardiovascular disease events and mortality in middle age: a prospective cohort study. *BMC Med* 2014;12:62.
8. Mecocci P, Fanó G, Fulle S, et al. Age-dependent increases in oxidative damage to DNA, lipids, and proteins in human skeletal muscle. *Free Radic Biol Med* 1999;26:303-8.
9. Beavers KM, Beavers DP, Serra MC, Bowden RG, Wilson RL. Low relative skeletal muscle mass indicative of sarcopenia is associated with elevations in serum uric acid levels: findings from NHANES III. *J Nutr Health Aging* 2009;13:177-82.
10. Veronese N, Stubbs B, Trevisan C, et al. Results of an observational cohort study of hyperuricemia as a predictor of poor physical performance in the elderly. *Arthritis Care Res (Hoboken)* 2017;69:1238-44.
11. García-Esquinas E, Guallar-Castillón P, Carnicero JA, et al. Serum uric acid concentrations and risk of frailty in older adults. *Exp Gerontol* 2016;82:160-5.
12. Park D, Lee O, Han SW, Kim MK, Choi BY, Kim YS. The association between muscle strength and hyperuricemia in the healthy middle-aged adult in Yangpyeong province. *Korean J Sports Med* 2018;36:7-14.
13. Wu Y, Zhang D, Pang Z, Jiang W, Wang S, Tan Q. Association of serum uric acid level with muscle strength and cognitive function among Chinese aged 50-74 years. *Geriatr Gerontol Int* 2013;13:672-7.
14. Nahas PC, Rossato LT, de Branco F, Azeredo CM, Rinaldi A, de Oliveira EP. Serum uric acid is positively associated with muscle strength in older men and women: findings from NHANES 1999-2002. *Clin Nutr* 2021;40:4386-93.
15. Molino-Lova R, Sofi F, Pasquini G, et al. Higher uric acid serum levels are associated with better muscle function in the oldest old: results from the Mugello Study. *Eur J Intern Med* 2017;41:39-43.
16. Kawamoto R, Ninomiya D, Kasai Y, et al. Serum uric acid is positively associated with handgrip strength among Japanese community-dwelling elderly women. *PLoS One* 2016;11:e0151044.

17. Lawman HG, Troiano RP, Perna FM, Wang CY, Fryar CD, Ogden CL. Associations of relative handgrip strength and cardiovascular disease biomarkers in U.S. adults, 2011-2012. *Am J Prev Med* 2016;50:677-83.
18. Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation. Protein and amino acid requirements in human nutrition. *World Health Organ Tech Rep Ser* 2007;(935):1-265.
19. García-Esquinas E, Rodríguez-Artalejo F. Association between serum uric acid concentrations and grip strength: Is there effect modification by age? *Clin Nutr* 2018;37:566-72.
20. Fang J, Alderman MH. Serum uric acid and cardiovascular mortality the NHANES I epidemiologic follow-up study, 1971-1992. *National Health and Nutrition Examination Survey. JAMA* 2000;283:2404-10.
21. Oda E, Kawai R, Sukumaran V, Watanabe K. Uric acid is positively associated with metabolic syndrome but negatively associated with diabetes in Japanese men. *Intern Med* 2009; 48:1785-91.
22. Haque T, Rahman S, Islam S, Molla NH, Ali N. Assessment of the relationship between serum uric acid and glucose levels in healthy, prediabetic and diabetic individuals. *Diabetol Metab Syndr* 2019;11:49.
23. Lyngdoh T, Marques-Vidal P, Paccaud F, et al. Elevated serum uric acid is associated with high circulating inflammatory cytokines in the population-based Colaus study. *PLoS One* 2011;6:e19901.
24. Doria E, Buonocore D, Focarelli A, Marzatico F. Relationship between human aging muscle and oxidative system pathway. *Oxid Med Cell Longev* 2012;2012:830257.
25. Muir SW, Montero-Odasso M. Effect of vitamin D supplementation on muscle strength, gait and balance in older adults: a systematic review and meta-analysis. *J Am Geriatr Soc* 2011;59:2291-300.
26. Dodds RM, Syddall HE, Cooper R, et al. Grip strength across the life course: normative data from twelve British studies. *PLoS One* 2014;9:e113637.
27. Kim SK, Choe JY. Association between smoking and serum uric acid in Korean population: data from the seventh Korea national health and nutrition examination survey 2016. *Medicine (Baltimore)* 2019;98:e14507.