

# 肌少症指数与CKD患者骨骼肌肉相关指标的相关性

胡慧敏<sup>1</sup>, 刘付仁<sup>1</sup>, 刘云<sup>1</sup>, 文罗娜<sup>2</sup>, 熊玉超<sup>3</sup>, 谭荣韶<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>暨南大学附属广州市红十字会医院肾内科, 广东 广州

<sup>2</sup>暨南大学附属广州市红十字会医院临床病态营养研究所, 广东 广州

<sup>3</sup>暨南大学附属广州市红十字会医院放射科, 广东 广州

收稿日期: 2026年3月22日; 录用日期: 2026年4月12日; 发布日期: 2026年4月30日

## 摘要

目的: 分析肌少症指数(sarcopenia Index, SI)与慢性肾脏病(chronic kidney disease, CKD)患者肌肉含量、肌肉力量的相关性, 探讨采用SI早期筛查CKD肌少症的可能性。方法: 选择2024年9月至2025年9月在广州市红十字会医院就诊的105例慢性肾脏病(Chronic Kidney Disease, CKD)患者作为研究对象, 收集血清肌酐(creatinine, Cr)、胱抑素C(Cystatin C, CysC)、白蛋白、血脂谱等, 使用人体成分分析仪(bioelectrical impedance analysis, BIA)测量四肢骨骼肌质量(appendicular skeletal muscle mass, ASMM)、四肢骨骼肌指数(appendicular skeletal muscle index, ASMI)、体脂肪指数(body fat mass index, BFMI)、去脂体重指数(Fat-Free Mass Index, FFMI)、相位角, 测量握力、捏力。以 $(Cr/Cysc) \times 100$ 计算SI, 以CysC计算估算肾小球滤过率(estimated glomerular filtration rate based on CysC,  $eGFR_{Cysc}$ ), 并计算 $Cr \times eGFR_{Cysc}$ 作为新型肌少症指标。应用Shapiro-Wilk进行正态性检验; t检验、曼-惠特尼秩和检验比较组间差异; Pearson或Spearman进行相关性分析, 并使用单因素、多因素线性回归分析。通过SI、 $Cr \times eGFR_{Cysc}$ 与亚洲肌少症工作组(Asian working group for sarcopenia, AWGS) 2019肌少症诊断金标准进行比较评估其诊断效能。结果: SI在CKD晚期患者显著升高, SI与ASMM、BFMI、捏力的相关性在弱至中等程度( $|r| = 0.077 \sim 0.403$ ),  $Cr \times eGFR_{Cysc}$ 与握力相关。多因素线性回归分析中, 在调整了性别、BMI、相位角等混杂因素后, SI仍与ASMM呈独立正相关( $\beta = 1.68, P = 0.036$ )。基于AWGS 2019诊断标准, 评估SI、 $Cr \times eGFR_{Cysc}$ 的诊断效能, 结果提示SI在CKD肌少症评估中具有较高的灵敏度(77.8%), 较低的特异度(35.8%);  $Cr \times eGFR_{Cysc}$ 具有较低的灵敏度(18.5%), 较高的特异度(97.0%)。结论: SI与CKD患者ASMM、BFMI、捏力有相关性, SI与CKD患者ASMM独立相关。SI可能是CKD肌少症筛查和诊断的一种良好工具。

## 关键词

肌少症指数, 慢性肾脏病, 肌肉减少症, 生物电阻抗法

\*通讯作者。

# Correlation of Sarcopenia Index with Skeletal Muscle Parameters in Chronic Kidney Disease

Huimin Hu<sup>1</sup>, Furen Liu<sup>1</sup>, Yun Liu<sup>1</sup>, Luona Wen<sup>2</sup>, Yuchao Xiong<sup>3</sup>, Rongshao Tan<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Nephrology, Guangzhou Red Cross Hospital Affiliated with Jinan University, Guangzhou Guangdong

<sup>2</sup>Institute of Clinical Pathophysiology and Nutrition, Guangzhou Red Cross Hospital Affiliated with Jinan University, Guangzhou Guangdong

<sup>3</sup>Department of Radiology, Guangzhou Red Cross Hospital Affiliated with Jinan University, Guangzhou Guangdong

Received: March 22, 2026; accepted: April 12, 2026; published: April 30, 2026

## Abstract

**Objective:** To analyze the correlation between the sarcopenia index (SI) and muscle mass, muscle strength in patients with chronic kidney disease (CKD), and to explore the potential of SI for early screening of sarcopenia in CKD. **Methods:** A total of 105 patients with CKD treated at Guangzhou Red Cross Hospital from September 2024 to September 2025 were enrolled. Serum creatinine (Cr), cystatin C (CysC), albumin, and lipid profiles were collected. Appendicular skeletal muscle mass (ASMM), appendicular skeletal muscle index (ASMI), body fat mass index (BFMI), fat-free mass index (FFMI), and phase angle were measured using bioelectrical impedance analysis (BIA). Grip strength and pinch strength were also measured. SI was calculated as  $(Cr/CysC) \times 100$ . The estimated glomerular filtration rate based on CysC ( $eGFR_{CysC}$ ) was calculated, and  $Cr \times eGFR_{CysC}$  was derived as a novel sarcopenia indicator. The Shapiro-Wilk test was used for normality testing. Differences between groups were compared using the t-test or Mann-Whitney U test. Correlations were analyzed using Pearson or Spearman correlation coefficients, and univariate and multivariate linear regression analyses were performed. The diagnostic performance of SI and  $Cr \times eGFR_{CysC}$  was evaluated against the 2019 Asian Working Group for Sarcopenia (AWGS) diagnostic criteria. **Results:** SI was significantly higher in patients with advanced CKD. The correlations of SI with ASMM, BFMI, and pinch strength were weak to moderate ( $|r| = 0.077 - 0.403$ ).  $Cr \times eGFR_{CysC}$  was correlated with grip strength. In multivariate linear regression analysis, after adjusting for confounding factors such as sex, BMI, and phase angle, SI remained independently and positively correlated with ASMM ( $\beta = 1.68, P = 0.036$ ). Based on the AWGS 2019 criteria, the diagnostic performance of SI and  $Cr \times eGFR_{CysC}$  was evaluated. The results indicated that SI had high sensitivity (77.8%) but low specificity (35.8%) for assessing sarcopenia in CKD, whereas  $Cr \times eGFR_{CysC}$  had low sensitivity (18.5%) but high specificity (97.0%). **Conclusion:** SI is correlated with ASMM, BFMI, and pinch strength in CKD patients, and is independently correlated with ASMM. SI may serve as a useful tool for screening and diagnosing sarcopenia in CKD.

## Keywords

Sarcopenia Index, Chronic Kidney Disease, Sarcopenia, Bioelectrical Impedance Analysis

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

慢性肾脏病(Chronic Kidney Disease, CKD)在中国患病率为 8.2% [1], 伴有多种并发症, 其中肌肉减少症(简称肌少症)是 CKD 患者最常见的躯体功能障碍并发症之一, 且与多种不良健康结局密切相关[2]。肌少症主要表现为骨骼肌质量和功能丧失。CKD 患者肌少症患病率是非 CKD 人群的 2 倍左右, 而终末期肾病患者肌少症患病率在 20%~55%, 显著高于非透析人群。此外, 肌少症使 CKD 患者全因死亡风险增加 33%, 进展至终末期肾病的风险增加 2 倍[3]。因此, 早期识别 CKD 肌少症非常重要。然而, 由于肌少症是一个逐渐发展的慢性过程, 尽管可通过肌少症筛查 5 项评分量表(包括肌肉力量(strength)、辅助行走(assistance in walking)、座椅起身(rise from a chair)、爬楼梯(climb stairs)、跌倒次数(falls), 简称 SARC-F 量表)进行筛查[4], 但此方法仍比较繁琐。为简化低肌肉量的识别, 2017 年梅奥诊所的 Kashani [5]等提出血清肌酐(creatinine, Cr)/胱抑素(cystatin, CysC)用于识别肌少症, 但由于肌少症指数(sarcopenia index, SI,  $Cr/CysC \times 100$ )在国内应用于识别 CKD 肌少症的研究尚少, 为验证其是否能早期识别 CKD 肌少症, 本研究在 CKD 患者中开展了 SI 及根据 CysC 估算的肾小球滤过率(estimated glomerular filtration rate, eGFR)调整的新型肌少症指标  $Cr \times eGFR_{CysC}$  [6]与 CKD 肌少症相关指标的相关性, 并分析 SI 预测或诊断 CKD 肌少症的可行性。

## 2. 对象和方法

### 2.1. 研究对象

采取连续性定点抽样方法, 收集 2023 年 9 月至 2025 年 12 月在广州市红十字会医院住院的非透析 CKD 患者。纳入标准: ① 年龄  $\geq 18$  岁; ②  $eGFR < 60 \text{ ml/min/1.73m}^2$  或尿蛋白阳性或 CT 提示肾萎缩者或临床诊断慢性肾脏病, 时间超过 3 月; ③ 临床状况良好, 纳入本研究时尚未接受透析或肾移植。排除标准: ① 具有心脏起搏器; ② 急性肾损伤、急性心力衰竭; ③ 重症感染; ④ 行透析或肾移植; ⑤ 明确诊断恶性肿瘤者; ⑥ 不能配合、拒绝参加研究者。

### 2.2. 方法

#### 2.2.1. 资料收集

通过住院病历系统收集患者年龄、性别、身高、体重等一般资料, 采用常规方法抽血并在我院检验科采用通用方法测定血清肌酐(creatinine, Cr)、胱抑素 C (cystatin C, CysC)、白蛋白、甘油三酯(triglyceride, TG)、总胆固醇(total cholesterol, TC)、高密度脂蛋白(high-density lipoprotein, HDL)、极低密度脂蛋白(very-low-density lipoprotein, VLDL)、低密度脂蛋白(low-density lipoprotein, LDL)等生化指标, 使用 CKD-EPI CysC [7]计算  $eGFR_{CysC}$ , 新型肌少症指标即  $Cr \times eGFR_{CysC}$  [6]; 采用公式  $(Cr/CysC) \times 100$  计算 SI [5]。

#### 2.2.2. 人体测量相关指标

使用无伸缩性卷尺测量上臂围、小腿围; 使用人体成分分析仪(Multiscan5000, Bodystat, London, UK), 基于生物电阻抗分析法(bioelectrical impedance analysis, BIA)测量人体成分, 避免剧烈运动在安静时空腹 2 小时后测量; 并通过握力计(12-0091, Fabrication Enterprises Inc, America)测量握力; 捏力计(12-0081, Fabrication Enterprises Inc, America)测量捏力, 具体方法为: 取坐位或仰卧位, 保持上臂与前臂呈  $90^\circ$ , 不以

身体为支撑点, 优势手最大用力达 5 秒, 休息 4 秒, 重复测量 3 次取最大值。根据 Adrian Slee [8] 等人提出的方程计算四肢骨骼肌质量(appendicular skeletal muscle mass, ASMM)、四肢骨骼肌指数(appendicular skeletal muscle index, ASMI)、体脂肪指数(body fat mass index, BFMI)、去脂体重指数(Fat-Free Mass Index, FFMI)。

### 2.2.3. 肌肉减少症的诊断或筛查

① 根据亚洲肌少症工作组(Asian working group for sarcopenia, AWGS)于 2019 年发布的关于肌少症诊断标准[9]: (1) BIA 测得 ASMI: 男 < 7.0 kg/m<sup>2</sup>, 女 < 5.7 kg/m<sup>2</sup>; (2) 肌肉力量(握力): 男 < 28.0 kg, 女 < 18.0 kg; (3) 同时满足(1)和(2)诊断为肌少症。

② 四川华西医院研究者[10]提出的 SI 男性 ≤ 85, 女性 ≤ 72 可用于检测住院老年患者(包括 CKD 和癌症人群)肌少症。

③ 我国学者[6]提出 Cr\*eGFR<sub>CysC</sub> 男性 < 53.9, 女性 < 45.8 可用于肌少症筛查。

## 2.3. 统计学方法

用 Shapiro-Wilk 对数据进行正态性检验, 正态分布计量资料使用均数和标准差描述分布特征, 组间比较采用 t 检验; 偏态分布计量资料使用中位数和四分位数描述, 组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。计数资料使用频数和频率描述, 组间比较采用  $\chi^2$  检验。采用 Pearson 或 Spearman 进行相关性分析, 采用单因素、多因素 Logistic 回归分析探讨肌少症的影响因素。SI、Cr\*eGFR<sub>CysC</sub> 的灵敏度和特异度计算以 AWGS 2019 共识为金标准, 正确指数 = (灵敏度 + 特异度) - 1。P < 0.05 表示有显著性统计学意义。

## 3. 结果

### 3.1. 不同肾功能 CKD 患者的一般基线特征

本研究共纳入 105 例 CKD 患者, 平均年龄为 70.74 岁, 肌少症患病率为 26.67%。其中 CKD1-2 期 26 例, CKD3-5 期 79 例。组间比较显示, CKD3-5 期患者年龄(73.11 ± 12.33 岁)显著高于 CKD1-2 期(63.54 ± 15.87 岁, P = 0.002), Cr、CysC 及 SI 水平均显著升高(均 P < 0.001), HDL 水平显著降低(P = 0.024); 而肌少症患病率、握力、捏力在两亚组间差异均无统计学意义(P > 0.05)。见表 1。

**Table 1.** Comparison of clinical data among CKD patients with varying renal function

**表 1.** 不同肾功能 CKD 患者间的临床资料比较

变量	Total (n = 105)	CKD1-2 期(n = 26)	CKD3-5 期 (n = 79)	P
年龄	70.74 ± 13.85	63.54 ± 15.87	73.11 ± 12.33	0.002
男性(%)	58 (55.24)	12 (46.15)	46 (58.23)	0.283
体重(kg)	62.00 (56.00, 71.00)	59.80 (54.72, 67.25)	63.00 (56.45, 72.25)	0.429
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	23.84 (21.90, 26.42)	23.82 (21.47, 25.76)	23.84 (21.99, 26.48)	0.979
上臂围(cm)	26.44 ± 3.27	27.15 ± 3.31	26.11 ± 3.22	0.212
小腿围(cm)	33.00 (31.00, 36.00)	33.85 (30.25, 36.88)	33.00 (31.00, 35.50)	0.426
白蛋白(g/L)	32.84 ± 6.45	32.14 ± 7.73	33.07 ± 6.01	0.578
肌酐(μmol/L)	143.00 (101.00, 249.10)	74.00 (58.25, 89.00)	206.00 (126.50, 329.50)	<0.001
胱抑素 C (mg/L)	1.90 (1.39, 3.08)	1.11 (0.92, 1.35)	2.54 (1.81, 3.49)	<0.001
SI	89.76 (72.85, 118.41)	69.10 (56.53, 86.87)	94.95 (78.05, 124.38)	<0.001

续表

Cr*eGFR <sub>CysC</sub>	52.47 (40.33, 63.42)	48.52 (32.77, 62.75)	53.08 (43.03, 63.42)	0.232
甘油三酯(mmol/L)	1.55 (1.10, 2.14)	1.42 (1.05, 1.81)	1.67 (1.10, 2.27)	0.389
总胆固醇(mmol/L)	4.36 (3.60, 5.56)	4.40 (3.86, 6.00)	4.36 (3.51, 5.28)	0.300
HDL (mmol/L)	1.00 (0.84, 1.29)	1.19 (0.90, 1.44)	0.98 (0.73, 1.23)	0.024
VLDL (mmol/L)	0.70 (0.55, 1.00)	0.69 (0.50, 0.97)	0.70 (0.55, 1.11)	0.639
LDL (mmol/L)	2.57 (1.84, 3.47)	2.67 (2.09, 3.71)	2.50 (1.74, 3.47)	0.267
ASMI (kg/m <sup>2</sup> )	6.77 (5.86, 7.46)	6.13 (5.68, 7.32)	6.85 (5.91, 7.55)	0.186
BFMI (kg/m <sup>2</sup> )	7.31 ± 3.46	8.24 ± 3.16	7.00 ± 3.52	0.122
FFMI (kg/m <sup>2</sup> )	16.93 ± 3.78	16.10 ± 3.44	17.20 ± 3.87	0.210
相位角(°)	4.60 (3.90, 5.20)	4.70 (4.10, 5.49)	4.51 (3.85, 4.90)	0.351
握力(kg)	22.89 ± 9.87	24.34 ± 9.46	22.39 ± 10.02	0.387
捏力(kg)	6.25 (4.88, 8.30)	6.25 (4.90, 8.30)	6.25 (4.82, 8.05)	0.866
肌肉减少症(%)	28 (26.67)	7 (26.92)	21 (26.58)	1.000

### 3.2. 肌少症指数与人体成分相关指标的相关性分析

相关性分析结果(见表 2)显示 CKD 患者 SI、Cr\*eGFR<sub>CysC</sub> 与 ASMM、BFMI、握力的相关性在弱至中等程度( $|r|=0.077\sim 0.403$ )。此外, 仅 Cr\*eGFR<sub>CysC</sub> 与握力表现出显著相关性; SI、Cr\*eGFR<sub>CysC</sub> 与 BFMI 呈负相关( $r < 0$ ), 其余为正相关( $P < 0.05$ )。见表 2。

**Table 2.** Comparison of clinical data among CKD patients with different renal function levels  
**表 2.** 不同肾功能 CKD 患者间的临床资料比较

名称	SI		Cr*eGFR <sub>CysC</sub>	
	R	P	R	P
体重(kg)	0.071	0.485	0.108	0.287
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	-0.148	0.144	-0.125	0.219
上臂围(cm)	-0.128	0.326	-0.036	0.785
小腿围(cm)	-0.063	0.560	-0.003	0.981
ASMM (kg)	0.243	0.018	0.275	0.007
ASMI (kg/m <sup>2</sup> )	0.149	0.152	0.178	0.085
BFMI (kg/m <sup>2</sup> )	-0.403	0.000	-0.399	0.000
FFMI (kg/m <sup>2</sup> )	0.136	0.191	0.161	0.121
握力(kg)	0.077	0.460	0.221	0.031
捏力(kg)	0.211	0.041	0.316	0.002

### 3.3. 以 ASMM 为因变量的单因素和多因素线性回归分析

由于肌少症主要体现的是肌肉质量和肌肉力量的下降, 本研究以 BIA 测定的 ASMM (代表肌肉质量的指标)作为因变量进行单因素和多因素分析(表 3)。单因素分析显示, 男性、SI、体质量指数(body mass

index, BMI)、握力、相位角均与 ASMM 呈显著正相关( $\beta$  分别为 5.16、2.49、0.40、0.22、0.73, 均  $P < 0.05$ ), 年龄与 ASMM 呈显著负相关( $\beta = -0.08, P = 0.016$ ), LDL 与 ASMM 的关联无统计学意义( $P = 0.051$ ); 当  $P < 0.1$  时纳入多因素分析(向后)。结果显示, 进一步校正性别、BMI、相位角后, SI 与 ASMM 呈独立正相关( $\beta = 1.68, P = 0.036$ )。而  $\text{Cr}^*\text{eGFR}_{\text{CysC}}$  与 ASMM 在单因素分析中呈显著正相关( $\beta = 0.05, P = 0.022$ ), 但在多因素分析中与 ASMM 无独立相关性。见表 3。

**Table 3.** Univariate and multivariate linear regression analyses with ASMM as the dependent variable

**表 3.** 以 ASMM 为因变量的单因素和多因素线性回归分析

名称	单因素		多因素	
	$\beta$	$P$	$\beta$	$P$
男性	5.16	<0.001	4.03	<0.001
年龄	-0.08	0.016		
SI	2.49	0.028	1.68	0.036
$\text{Cr}^*\text{eGFR}_{\text{CysC}}$	0.05	0.022		
BMI ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )	0.40	<0.001	0.44	<0.001
LDL ( $\text{mmol}/\text{L}$ )	0.73	0.051	0.48	0.074
握力(kg)	0.22	<0.001		
相位角( $^\circ$ )	0.73	<0.001	0.66	<0.001

### 3.4. SI 与 $\text{Cr}^*\text{eGFR}_{\text{CysC}}$ 的诊断效能评价

以 AWGS2019 为参考标准, 对 105 例非血液透析 CKD 患者进行肌少症诊断效能评价。结果显示, SI 的灵敏度为 77.8%, 特异度为 35.8%, 阳性预测值(positive predictive value, PPV)为 29.03%, 阴性预测值(negative predictive value, NPV)为 67.16%, 正确指数为 57.45%。相比之下,  $\text{Cr}^*\text{eGFR}_{\text{CysC}}$  指标表现出较高的特异度(97.0%)但灵敏度较低(18.5%), 其 PPV 为 28.57%, NPV 为 55.22%, 正确指数为 52.13%。见表 4。

**Table 4.** Evaluation of the diagnostic efficacy of SI and  $\text{Cr}^*\text{eGFR}_{\text{CysC}}$  for sarcopenia in patients with CKD

**表 4.** SI 与  $\text{Cr}^*\text{eGFR}_{\text{CysC}}$  诊断 CKD 患者肌少症的诊断效能评价

参数	SI	$\text{Cr}^*\text{eGFR}_{\text{CysC}}$
灵敏度(%)	77.8	18.5
特异度(%)	35.8	97.0
PPV (%)	29.03	28.57
NPV (%)	67.16	55.22
正确指数(%)	57.45	52.13

## 4. 引言

欧洲老年人肌少症工作组[4]定义肌少症是一种与高龄以及多种慢性疾病(如炎症性疾病、恶性肿瘤等)进展相关的进行性、全身性的骨骼肌疾病。CKD 患者由于摄入减少、慢性炎症、激素水平异常、氧化应激[11]等多种因素, 肌少症患病风险显著升高[12]。研究表明, 肾功能不全合并肌少症使患者的全因死亡

风险增加至 61% [13]。由此可见 CKD 与肌少症之间相互影响, 严重危害人群健康和生活质量, 因此尽早识别老年患者(特别是合并 CKD 者)肌少症的发生具有重要的临床意义。

生物标志物因其快速、经济、便捷的优势受到广泛关注。其中, Cr、CysC 及与其相关肌少症指数研究最为广泛, 其中 SI 的相关研究较多, Cr\*eGFR<sub>CysC</sub> 的研究较少 [14]。本研究旨在分析 SI 与 CKD 患者人体成分相关指标的相关性及其诊断效能。一般资料分析显示 SI 在 CKD3-5 期组显著升高, 与林玉立 [15] 等人的研究结果类似(SI 在 CKD5 期时水平升高), 并与反映肌肉含量(即肌肉质量)的指标(ASMM、BFMI)趋势相符。一项对比血液透析患者和健康对照组的下肢小腿磁共振成像资料的研究发现总肌肉横截面积组间未见明显差异, 但透析患者的收缩组织明显减少 [16]。我们还观察到 CKD 晚期组的握力、捏力未见明显下降, 而 BFMI 显著升高。这意味着 CKD 晚期组患者有更高的脂肪量, 而 BIA 无法确定的肌肉内结构异常(譬如肌肉脂肪浸润) [17] 可能先于肌肉质量、肌肉力量下降发生, 与 CKD 肌少症的发生关系更加密切。

在初步相关性分析中, Cr\*eGFR<sub>CysC</sub> 和 SI 均与 CKD 患者肌肉含量(ASMM、BFMI)有弱至中等程度相关性。这与 Lin 等 [15] 在 297 名非透析晚期 CKD 患者的研究结果类似。在线性回归分析中, 在调整了性别、BMI、相位角等混杂因素后, SI 与 ASMM 呈独立正相关( $\beta = 1.68, P = 0.036$ ), 即 SI 每增加 1 个单位, ASMM 增加 0.14-3.23 个单位。从生理机制分析, Cr 的代谢主要来源于肌肉代谢, 其生成量与肌肉质量密切相关; 而 CysC 的生成虽与肌肉量无关, 却受炎症和代谢状态等影响。在稳态条件下, 二者血清浓度是 GFR 与非 GFR 决定因素(生成、肾小管重吸收与分泌、肾外消除)共同作用的结果。需重点关注的是炎症因子在其中的作用, 有文献指出 [18] 肌少症患者的白细胞介素-6、肿瘤坏死因子- $\alpha$ 、C-反应蛋白等炎症生物标志物水平升高, 而 CKD 患者也存在不同程度的慢性炎症状态, 最终都对 CysC 产生影响。因此, 当 GFR 不稳定或炎症严重时, SI 比值可能偏离其对肌肉含量的真实反映。基于上述发现, 未来研究应关注监测不同人群 SI 包括炎症因子的纵向变化, 以准确评估其在肌肉含量的预测价值 [19]。

值得注意的是 Cr\*eGFR<sub>CysC</sub> 在单因素分析中与 ASMM 呈正相关, 而在多因素分析中未表现出显著相关性。我国学者 [6] 的研究证实 Cr\*eGFR<sub>CysC</sub> 与晚期 CKD 患者骨骼肌肉含量呈独立正相关关系。理论上, 24h 尿肌酐排泄量理论上是预测肌肉含量的可靠且稳健的标志物 [20] [21]。一项横断面研究显示: 植物性饮食者的尿肌酐排泄量显著低于杂食者 [22], 提示饮食模式对尿肌酐排泄存在独立影响。也就是说 Cr\*eGFR<sub>CysC</sub> 作为尿肌酐排泄量的估算指标, 其与 ASMM 的关联可能受患者饮食习惯的潜在干扰。本研究未收集患者的膳食信息, 无法评估饮食模式对上述指标的干扰作用, 未来研究应纳入膳食评估以准确评估 Cr\*eGFR<sub>CysC</sub> 在 CKD 肌少症的预测价值。

基于我国学者 [6] [10] 提出的 SI、Cr\*eGFR<sub>CysC</sub> 的截止值评估其诊断效能。结果提示 SI 的正确指数在 52.13%~57.45%, 其中 SI 的灵敏度较高(77.8%)但特异度低(35.8%), 而 Cr\*eGFR<sub>CysC</sub> 有极高的特异度(97.0%)但灵敏度欠佳(18.5%)。根据 Wilson [23] 提出的筛查原则: 可接受较高假阳性率(低特异度), 但不能接受较高假阴性率(低灵敏度), 本研究中 SI 比 Cr\*eGFR<sub>CysC</sub> 更适合作为 CKD 肌少症筛查工具。

本研究与既往研究结果存在差异。Tang 等 [24] 报道, SI 在筛查晚期肺癌患者肌少症时具有较高的敏感度(大于 73.0%)和特异度(大于 62.9%); 我国学者 [6] 使用 Cr\*eGFR<sub>CysC</sub> 筛查晚期 CKD 肌少症患者, 发现其灵敏度达 71.1%~81.8%, NPV 为 87.4%~94.3%; 一项 Meta 分析 [25] 结果显示, SI 的合并灵敏度为 67%、特异度为 76%。综合以上研究, 有较多证据支持 SI 可作为肌少症筛查指标, 受限于 Cr\*eGFR<sub>CysC</sub> 的相关研究较少, 其诊断效能仍需更多大样本、多中心研究进一步验证。

综上所述, 肌少症指数与 CKD 患者人体成分相关指标(ASMM、BFMI、握力)有相关性, 特别是 SI 可用于预测 CKD 患者人体肌肉含量。在调整了性别、BMI、相位角等混杂因素后, SI 与 ASMM 呈独立正相关( $\beta = 1.68, P = 0.036$ ), 而 Cr\*eGFR<sub>CysC</sub> 与之独立相关性消失。SI 比 Cr\*eGFR<sub>CysC</sub> 在 CKD 肌少症筛查

中有更好的诊断效能。尽管本研究是单中心研究, 样本量偏少, SI 与人体成分指标的相关性并不能代表存在因果关系, 但本研究的结果提示 SI 与人体成分指标相关, 且可预测 CKD 患者的人体肌肉含量, 因此我们推测 SI 具有成为一种 CKD 肌少症患者早期筛查和诊断工具的潜能。未来应进行前瞻性队列设计, 纵向观察 SI 的变化与 CKD 患者肌肉质量、力量及不良临床结果(如住院、死亡)的关系, 同时注意纳入饮食、体力活动和炎症标志物等影响因素的系统评估, 以构建更精准模型。

## 参考文献

- [1] Wang, L., Xu, X., Zhang, M., Hu, C., Zhang, X., Li, C., *et al.* (2023) Prevalence of Chronic Kidney Disease in China: Results from the Sixth China Chronic Disease and Risk Factor Surveillance. *JAMA Internal Medicine*, **183**, 298-310. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2022.6817>
- [2] 慢性肾脏病肌少症诊断、治疗与预防专家共识专家组. 慢性肾脏病肌少症诊断、治疗与预防专家共识(2024 年版) [J]. *中华肾脏病杂志*, 2024, 40(7): 592-606, 610.
- [3] Wilkinson, T.J., Miksza, J., Yates, T., Lightfoot, C.J., Baker, L.A., Watson, E.L., *et al.* (2021) Association of Sarcopenia with Mortality and End-Stage Renal Disease in Those with Chronic Kidney Disease: A UK Biobank Study. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, **12**, 586-598. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12705>
- [4] Cruz-Jentoft, A.J., Bahat, G., Bauer, J., Boirie, Y., Bruyère, O., Cederholm, T., *et al.* (2018) Sarcopenia: Revised European Consensus on Definition and Diagnosis. *Age and Ageing*, **48**, 16-31. <https://doi.org/10.1093/ageing/afy169>
- [5] Kashani, K.B., Frazee, E.N., *et al.* (2017) Evaluating Muscle Mass by Using Markers of Kidney Function: Development of the Sarcopenia Index. *Critical Care Medicine*, **45**, e23-e29.
- [6] Lin, Y.L., Wang, C.H., Chang, I.C. and Hsu, B.G. (2022) A Novel Application of Serum Creatinine and Cystatin C to Predict Sarcopenia in Advanced CKD. *Frontiers in Nutrition*, **9**, Article 828880.
- [7] Inker, L.A., Schmid, C.H., Tighiouart, H., Eckfeldt, J.H., Feldman, H.I., Greene, T., *et al.* (2012) Estimating Glomerular Filtration Rate from Serum Creatinine and Cystatin C. *New England Journal of Medicine*, **367**, 20-29. <https://doi.org/10.1056/nejmoa1114248>
- [8] Slee, A., McKeaveney, C., Adamson, G., Davenport, A., Farrington, K., Fouque, D., *et al.* (2020) Estimating the Prevalence of Muscle Wasting, Weakness, and Sarcopenia in Hemodialysis Patients. *Journal of Renal Nutrition*, **30**, 313-321. <https://doi.org/10.1053/j.jrn.2019.09.004>
- [9] Chen, L., Woo, J., Assantachai, P., Auyeung, T., Chou, M., Iijima, K., *et al.* (2020) Asian Working Group for Sarcopenia: 2019 Consensus Update on Sarcopenia Diagnosis and Treatment. *Journal of the American Medical Directors Association*, **21**, 300-307.e2. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2019.12.012>
- [10] Tu, X., Lin, T., Huang, L., Tang, T., Xie, D., Gao, L., Jiang, T. and Yue, J.R. (2024) The Diagnostic Performance of Cr/CysC for Sarcopenia and Its Predictive Value on Clinical Outcomes in Hospitalized Older Patients: A Prospective Cohort Study. *European Geriatric Medicine*, **15**, 579-588.
- [11] Watanabe, H., Enoki, Y. and Maruyama, T. (2019) Sarcopenia in Chronic Kidney Disease: Factors, Mechanisms, and Therapeutic Interventions. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, **42**, 1437-1445. <https://doi.org/10.1248/bpb.b19-00513>
- [12] Chang, J., Liang, Y., Sun, P., Fang, X. and Sun, Q. (2025) Molecular and Cellular Mechanisms Linking Chronic Kidney Disease and Sarcopenia in Aging: An Integrated Perspective. *Clinical Interventions in Aging*, **20**, 449-458. <https://doi.org/10.2147/cia.s516704>
- [13] Wu, G., Hu, Q., Huang, Z., Lai, Z., Wang, X., Cai, M., *et al.* (2023) Sarcopenia and Mild Kidney Dysfunction and Risk of All-Cause and Cause-Specific Mortality in Older Adults. *Nephrology Dialysis Transplantation*, **39**, 989-999. <https://doi.org/10.1093/ndt/gfad243>
- [14] Liu, G., Jiang, S., Xie, W., Liu, X., Yang, G., Lu, W., *et al.* (2025) Biomarkers for Sarcopenia, Muscle Mass, Muscle Strength, and Physical Performance: An Umbrella Review. *Journal of Translational Medicine*, **23**, Article No. 650. <https://doi.org/10.1186/s12967-025-06575-3>
- [15] Lin, Y., Chen, S., Lai, Y., Wang, C., Kuo, C., Liou, H., *et al.* (2020) Serum Creatinine to Cystatin C Ratio Predicts Skeletal Muscle Mass and Strength in Patients with Non-Dialysis Chronic Kidney Disease. *Clinical Nutrition*, **39**, 2435-2441. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2019.10.027>
- [16] Johansen, K.L., Shubert, T., Doyle, J., Soher, B., Sakkas, G.K. and Kent-Braun, J.A. (2003) Muscle Atrophy in Patients Receiving Hemodialysis: Effects on Muscle Strength, Muscle Quality, and Physical Function. *Kidney International*, **63**, 291-297. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1755.2003.00704.x>
- [17] Jang, S.Y. and Choi, K.M. (2025) Impact of Adipose Tissue and Lipids on Skeletal Muscle in Sarcopenia. *Journal of*

- 
- Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, **16**, e70000. <https://doi.org/10.1002/jcsm.70000>
- [18] Feng, Z., Xia, J., Yu, J., Wang, J., Yin, S., Yang, J., *et al.* (2025) Pathophysiological Mechanisms Underlying Sarcopenia and Sarcopenic Obesity: A Systematic Review and Meta-Analysis of Biomarker Evidence. *International Journal of Molecular Sciences*, **26**, Article 5113. <https://doi.org/10.3390/ijms26115113>
- [19] Kitago, M., Seino, S., Shinkai, S., Nofuji, Y., Yokoyama, Y., Toshiki, H., *et al.* (2023) Cross-Sectional and Longitudinal Associations of Creatinine-To-Cystatin C Ratio with Sarcopenia Parameters in Older Adults. *The Journal of nutrition, health and aging*, **27**, 946-952. <https://doi.org/10.1007/s12603-023-2029-3>
- [20] Oterdoom, L.H., Gansevoort, R.T., Schouten, J.P., de Jong, P.E., Gans, R.O.B. and Bakker, S.J.L. (2009) Urinary Creatinine Excretion, an Indirect Measure of Muscle Mass, Is an Independent Predictor of Cardiovascular Disease and Mortality in the General Population. *Atherosclerosis*, **207**, 534-540. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2009.05.010>
- [21] Heymsfield, S., Arteaga, C., McManus, C., Smith, J. and Moffitt, S. (1983) Measurement of Muscle Mass in Humans: Validity of the 24-Hour Urinary Creatinine Method. *The American Journal of Clinical Nutrition*, **37**, 478-494. <https://doi.org/10.1093/ajcn/37.3.478>
- [22] Zhu, Y., Ocké, M.C. and de Vet, E. (2025) Association between More Plant-Based Diets and 24-H Urinary Creatinine Excretion in 98,813 Dutch Females and Males: A Cross-Sectional Study. *The American Journal of Clinical Nutrition*, **121**, 1176-1185. <https://doi.org/10.1016/j.ajcnut.2025.03.010>
- [23] Wilson, J.M. and Jungner, Y.G. (1968) [Principles and Practice of Mass Screening for Disease]. *Boletin de la Oficina Sanitaria Panamericana Pan American Sanitary Bureau*, **65**, 281-393.
- [24] Tang, T., Xie, L., Hu, S., Tan, L., Lei, X., Luo, X., *et al.* (2022) Serum Creatinine and Cystatin C-Based Diagnostic Indices for Sarcopenia in Advanced Non-Small Cell Lung Cancer. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, **13**, 1800-1810. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12977>
- [25] Lin, T., Jiang, T., Huang, X., Xu, P., Liang, R., Song, Q., *et al.* (2024) Diagnostic Test Accuracy of Serum Creatinine and Cystatin C-Based Index for Sarcopenia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Age and Ageing*, **53**, afad252. <https://doi.org/10.1093/ageing/afad252>