·调查报告与分析·

绝经年龄与绝经后肌肉率和骨量占比关系

罗娇玲[1]，张维森[2]，柴智浩[1]，朱峰[2]，朱彤[2]，靳雅丽[2]，潘静[2]，江朝强[2]

1. 广州医科大学附属市十二人民医院分子流行病学研究室，广州 510620；
2. 广州市第十二人民医院广州生物库队列研究组，广州 510620
通信作者：张维森，E–mail：zwsgzcn@163.com

【摘　要】目的 分析女性自然绝经年龄提前或延迟与绝经后肌肉率和骨量占比的相关性，为绝经后女性健康保健提供参考。**方法** 从广州中老年人慢性病前瞻性队列研究中选取 2 059 名自然绝经女性为研究对象，2017 年 11 月—2020 年 1 月基线调查收集一般人口特征指标和女性生理数据，测量肌肉率和骨量等体成分指标；采用广义线性模型进行数据分析。**结果** 研究对象平均年龄和平均绝经年龄分别为（59.1±5.1）和（50.4±2.9）岁。调整相关混杂因素后，与绝经年龄正常组比，绝经年龄提前组（β=–1.02，95%*CI*=–1.83～–0.21）和延迟组（β=–0.75，95%*CI*=–1.43～–0.06）均与肌肉率减少相关（*P* 值均<0.05）。未发现绝经年龄提前或延迟与骨量占比相关。**结论** 自然绝经年龄提前或延迟与绝经后肌肉率减少相关，与骨量占比无关。

【关键词】 绝经年龄；肌肉率；骨量占比；中老年妇女

The correlation between early or late natural menopausal age and muscle mass percentage and bone mass percentage in postmenopausal women

LUO Jiaoling[1], ZHANG Weisen[2], CHAI Zhihao[1], ZHU Feng[2], ZHU Tong[2], JIN Yali[2], PAN Jing[2], JIANG Chaoqiang[2] (*1. Laboratory of Molecular Epidemiology*, *Twelfth People's Hospital Affiliated to Guangzhou Medical University*, *Guangzhou* 510620, *China*; *2. Guangzhou Biobank Cohort Research Group*, *Guangzhou Twelfth People's Hospital*, *Guangzhou* 510620, *China*)
Corresponding author: ZHANG Weisen, E-mail: zwsgzcn@163.com

【Abstract】 Objective To analyze the correlation between early or late natural menopausal age and muscle mass percentage and bone mass percentage in postmenopausal women, and to provide a reference for health care of postmenopausal women. **Methods** A total of 2 059 naturally menopausal women were selected from the Guangzhou Chronic Disease Prospective Cohort Study of Middle-aged and Elderly People. Baseline survey data were collected from November 2017 to January 2020, including general demographic characteristics, female physiological data, and body composition indicators such as muscle mass percentage and bone mass. Generalized linear models were used for data analysis. **Results** The average age and average menopausal age of the participants were (59.1±5.1) years and (50.4±2.9) years, respectively. After adjusting for relevant confounding factors, compared with the normal menopausal age group, both the early menopausal age group (β=–1.02, 95%*CI*: –1.83 to –0.21) and the late menopausal age group (β=–0.75, 95% *CI*: –1.43 to –0.06) were associated with decreased muscle mass percentage (both *P* values <0.05). No association was found between early or late menopausal age and bone mass percentage. **Conclusions** Early or late natural menopause is associated with decreased muscle mass percentage in postmenopausal women, but not with bone mass percentage.

【Keywords】 menopausal age; muscle ratio; bone mass percentage; middle-aged and elderly women

肌肉质量和骨量减少会造成中老年女性生活自理能力下降，导致跌倒、功能减退[1]、感染[2]和死亡[3]风险增加，带来沉重的经济和医疗负担。女性绝经与肌肉和骨代谢相关，研究发现，绝经后女性骨骼肌肉质量下降，骨质疏松、少肌症等疾病的发病率明显上升，超过 20% 的≥65 岁健康女性肌肉质量下降，7.6% 的人会出现肌力下降[4]。但国内外关于过早或过晚绝经与绝经后肌肉率和骨量占比的相关性研究报道甚少，来自西欧的研究仅发现过早绝经与少肌症或肌肉力量降低有关[5]，未能进一步分析绝经年龄延迟与肌肉质量的相关性。为此，基于本研究团队开展的国家重点研发计划项目子课题“广州中老年人慢性病前瞻性队列研究”，利用其基线数据，在此前研究发现肌肉率与代谢综合征相关基础上[6]，选择其中自然绝经后女性为研究对象，分析绝经年龄提前或延迟与肌肉率和骨量占比的关系，以期为绝经后女性健康保健提供参考。

开放获取：CC BY-NC-ND 4.0　DOI：10.11847/zgggws1145410
基金项目：国家重点研发计划（2017YFC0907105）
第一作者：罗娇玲（1999—），硕士在读，研究方向：慢性非传染性疾病。
收稿日期：2024-09-02　修回日期：2024-10-09　录用日期：2024-11-19
利益冲突：不存在　伦理审查：已获取　出版授权：全体作者已与编辑部签署作者贡献声明及版权转让协议

1 对象与方法

1.1 对象　研究对象来自 2017 年 11 月—2020 年 1 月国家重点研发项目子课题“广州中老年人慢性病前瞻性队列研究”，该研究招募条件：广州户籍居民，年龄≥50 岁，能自行前往项目单位，自愿参与免费体检和问卷调查，共新招募 10 512 名新成员，其中女性 7 508 人，自然绝经 5 385 人（排除有子宫、卵巢或乳腺切除史，以及性激素替代治疗史者）。有 2 516 人自然绝经女性测量了肌肉质量和骨量等体成分指标。本研究在排除了其中 457 名相关指标缺失者，最终将 2 059 名完成体成分测量的自然绝经≥50 岁女性纳入最终分析。本研究经广州市第十二人民医院医学伦理委员会审查批准（批准号：2017002），所有研究对象了解研究内容，知情并同意参与。

1.2 方法　(1)问卷调查：参考国家示范队列和广州生物库队列研究问卷，制定标准化的电子问卷。通过面对面方式进行调查。内容包括性别、年龄，婚姻状况、文化程度、职业及家庭年收入等社会经济状况，以及吸烟、饮酒、日常体力活动和饮食习惯等生活方式，同时调查女性生育和生理健康状况，包括绝经年龄、初潮年龄、生育孩子数、是否使用过激素替代治疗、妇科疾病史等。(2)体重和体成分测量采用日本 TANITA 百利达 BC-567 人体成分分析仪，读数精确至小数点后 1 位。

1.3 变量指标定义和诊断标准　(1)自然绝经年龄分提前（≤45 岁）、正常（46～54 岁）和推迟（≥55 岁）[7–8]。(2)肌肉率=肌肉质量（kg）/体重（kg）×100%。(3)骨量占比（%）=骨量（kg）/体重（kg）×100%。(4)职业划分将工人、农林牧渔劳动者、销售及服务行业人员归类为手工作业，将行政管理人员、专业技术人员、军人警察归类为非手工作业，家庭主妇、无职业者等列为其他职业[9]。(5)吸烟状态：不吸烟指以前或现在都不吸烟，戒烟指以前曾经吸烟但已戒烟超过 1 年，目前吸烟指平均每天吸烟超过 1 支且达 1 年以上[10]。(6)饮酒状态：不饮酒指以前或现在都不饮酒，戒酒指曾经饮酒但已经戒酒超过 1 年，目前饮酒指过去 1 年有饮酒行为[11]。(7)体力活动：采用简版国际体力活动问卷（IPAQ）[12]，根据其过去 7 d 不同强度活动类型的活动天数和时间计算总的代谢能量值（MET），然后按 3 分类将体力活动 MET 划分为低、中、高 3 组。

1.4 统计分析　采用 SPSS 28.0 软件进行分析，计数资料用例数、构成比表示，组间构成差异采用 χ^2 检验。计量资料用 $\bar{x}\pm s$ 表示，组间差异采用方差分析；分析调整相关混杂因素后自然绝经年龄提前或推迟与肌肉率和骨量占比的相关性采用广义线性模型，检验水准取 α=0.05。

2 结　果

2.1 基本情况（表 1）　共纳入研究对象 2 059 人，平均年龄为（59.1 ±5.1）岁，平均绝经年龄为（50.4±2.9）岁。在自然绝经年龄各组中比较，仅职业构成的差异有统计学意义（P<0.01），其他指标包括婚姻状况、教育水平、家庭年收入吸烟、饮酒饮食习惯、体力活动、初潮年龄和生育孩子数的构成差异均无统计学意义（P>0.05）。

表 1 不同自然绝经年龄组一般人口学特征比较

Table 1 Comparison of general demographic characteristics of the study subjects in different natural menopausal age groups by marital status, education level, occupation, annual family income, smoking, alcohol consumption, dietary habit, physical activity, age of menarche, number of children born

变量	自然绝经年龄/岁						χ^2值	P值
	≤45（n=120）		46～54（n=1 762）		≥55（n=177）			
	人数	构成比/%	人数	构成比/%	人数	构成比/%		
婚姻状况							4.366	0.113
已婚	102	85.0	1 587	90.1	154	87.0		
单身	18	15.0	175	9.9	23	13.0		
文化程度							11.077	0.086
小学及以下	17	14.2	131	7.4	15	8.4		
初中	19	15.8	342	19.4	29	16.4		
高中	66	55.0	1 002	56.9	95	53.7		
大专及以上	18	15.0	287	16.3	38	21.5		

续表 1
Table 1 Continued

变量	自然绝经年龄/岁						χ^2值	*P*值
	≤45（*n*=120）		46～54（*n*=1 762）		≥55（*n*=177）			
	人数	构成比/%	人数	构成比/%	人数	构成比/%		
职业							14.049	0.007
手工作业	58	48.3	762	43.2	61	34.5		
非手工作业	32	26.7	479	27.2	70	39.5		
其他	30	25.0	521	29.6	46	26.0		
家庭年收入/万元							4.400	0.355
<7.0	57	47.5	735	41.7	86	48.6		
≥7.0	62	51.7	1 013	57.5	90	50.8		
不确定	1	0.8	14	0.8	1	0.6		
吸烟							3.355	0.500
不吸烟	116	96.7	1 670	94.8	166	93.8		
戒烟	3	2.5	84	4.8	11	6.2		
目前吸烟	1	0.8	8	0.4	0	0.0		
饮酒							8.087	0.088
不饮酒	84	70.0	1 310	74.3	117	66.1		
戒酒	28	23.3	326	18.5	40	22.6		
目前饮酒	8	6.7	126	7.2	20	11.3		
饮食习惯							5.638	0.465
没有什么限制	58	48.3	906	51.4	81	45.8		
多吃肉类	5	4.2	40	2.3	4	2.2		
多吃蔬菜水果	44	36.7	683	38.8	77	43.5		
特别饮食[a]	13	10.8	133	7.5	15	8.5		
体力活动							4.115	0.391
低	31	25.8	420	23.8	54	30.5		
中	86	71.7	1 296	73.6	118	66.7		
高	3	2.5	46	2.6	5	2.8		
初潮年龄/岁							5.820	0.444
<13	24	20.0	386	21.9	39	22.0		
13～16	86	71.7	1 194	67.8	114	64.4		
>16	10	8.3	172	9.8	21	11.9		
未知	0	0.0	10	0.6	3	1.7		
生育孩子数/个							4.357	0.628
0	9	7.5	123	7.0	10	5.7		
1	96	80.0	1 370	77.7	139	78.5		
2	11	9.2	204	11.6	17	9.6		
≥3	4	3.3	65	3.7	11	6.2		

注：a 特别饮食是指素食或接受糖尿病、肾病等饮食治疗。

2.2 研究对象不同人口学特征的肌肉率和骨量占比比较（表 2）　不同文化程度、职业、体力活动和生育孩子数的肌肉率组间比较，差异均有统计学意义（*P* 值均<0.05），而骨量占比组间比较差异无统计学意义。肌肉率和骨量占比均随文化程度的提高而增加，但肌肉率和骨量占比随生育孩子数的增加而减少（趋势检验 *P* 值均<0.05）。其他指标，包括婚姻状况、家庭年收入、吸烟、饮酒、饮食习惯和初潮年龄的肌肉率和骨量占比的组间比较差异均无统计学意义（均 *P*>0.05）。

表 2 研究对象不同人口学特征的肌肉率和骨量占比组间差异比较

Table 2 Comparison of intergroup differences in muscle rate and bone mass percentage for different demographic characteristics of the study subjects (analysis of variance)

变量	分类	肌肉率/%	骨量占比/%	变量	分类	肌肉率/%	骨量占比/%
婚姻状况	已婚	63.1±4.5	3.8±1.1	饮酒	不饮酒	63.1±4.5	3.8±1.2
	单身	62.9±4.3	3.8±0.7		戒酒	62.9±4.4	3.8±0.6
	*F*值	0.303	0.255		目前饮酒	63.1±4.2	3.8±0.3
	*P*值	0.582	0.614		*F*值	0.685	0.408
文化程度	≤小学	61.4±4.4	3.6±0.3		*P*值	0.504	0.665
	初中	62.8±4.3	3.7±0.4	饮食习惯	没有什么限制	63.2±4.4	3.9±1.4
	高中	63.1±4.4	3.8±1.4		多吃肉类	63.0±5.7	3.8±0.3
	≥大专	64.1±4.6	3.9±0.3		多吃蔬菜水果	62.9±4.4	3.8±0.4
	*F*值	14.580	2.540		特别饮食 [a]	63.4±4.4	3.8±0.3
	*P*值	<0.001	0.055		*F*值	1.211	0.930
	$F_{趋势检验}$	40.077	6.467		*P*值	0.304	0.425
	$P_{趋势检验}$	<0.001	0.011	体力活动	低	63.4±4.3	3.8±0.3
职业	手工作业	63.0±4.4	3.8±0.5		中	62.9±4.5	3.8±1.2
	非手工作业	63.5±4.4	3.8±0.3		高	64.3±4.4	4.0±1.4
	其他	62.8±4.5	3.9±1.9		*F*值	3.728	0.982
	*F*值	3.865	1.179		*P*值	0.024	0.375
	*P*值	0.021	0.308		$F_{趋势检验}$	0.733	1.306
家庭年收入/万元	<7.0	63.0±4.4	3.8±1.2		$P_{趋势检验}$	0.392	0.253
	≥7.0	63.1±4.5	3.8±0.9	初潮年龄/岁	<13	63.2±4.4	3.9±1.3
	不确定	62.7±4.0	3.8±0.3		13～16	63.1±4.4	3.8±1.0
	*F*值	0.149	0.020		>16	62.9±4.5	3.7±0.3
	*P*值	0.862	0.980		未知	62.9±3.8	3.7±0.3
吸烟	不吸烟	63.1±4.4	3.8±1.1		*F*值	0.175	0.570
	戒烟	62.4±4.6	3.7±0.3		*P*值	0.913	0.635
	目前吸烟	64.7±5.1	3.8±0.3	生育孩子数/个	0	63.7±4.6	3.9±1.1
	*F*值	1.914	0.247		1	63.2±4.4	3.8±1.2
	*P*值	0.148	0.781		2	62.5±4.3	3.7±0.3
					≥3	61.5±4.2	3.6±0.2
					*F*值	6.059	1.625
					*P*值	<0.001	0.182
					$F_{趋势检验}$	17.689	4.829
					$P_{趋势检验}$	<0.001	0.028

注：a 特别饮食是指素食或接受糖尿病、肾病等饮食治疗；表中数据为$\bar{x} \pm s$。

2.3 绝经年龄与绝经后肌肉率和骨量占比的广义线性回归分析（表 3）　调整年龄、社会经济状况（婚姻状况、文化程度、职业、家庭年收入）、生活方式（吸烟、饮酒、饮食习惯、体力活动）和初潮年龄、生育孩子数后，与自然绝经年龄正常比较，绝经年龄提前（β=–1.02, 95%*CI*=–1.83～–0.21）或延迟（β=–0.75，95%*CI*=–1.43～–0.06）均与肌肉率的减少相关（*P* 值均<0.05），未发现绝经年龄提前或延迟与骨量占比有关。

表 3 绝经年龄与绝经后肌肉率和骨量占比的相关性(广义线性回归模型)
Table 3 Correlation between menopausal age and postmenopausal muscle ratio and bone mass percentage(generalized linear regression model)

项目	绝经年龄/岁	对照组/岁	肌肉率/%		骨量占比/%	
			*β*值	95%*CI*	*β*值	95%*CI*
粗模型(未调整)	≤45	46～54	–1.08	–1.90～–0.26 [a]	–0.09	–0.29～0.11
	≥55		–0.86	–1.54～–0.17 [a]	–0.07	–0.24～0.09
模型1	≤45	46～54	–1.01	–1.82～–0.20 [a]	–0.08	–0.28～0.12
	≥55		–0.76	–1.44～–0.07 [a]	–0.04	–0.21～0.13
模型2	≤45	46～54	–1.02	–1.83～–0.21 [a]	–0.09	–0.28～0.11
	≥55		–0.75	–1.43～–0.06 [a]	–0.04	–0.21～0.13

注:*β*回归系数;模型1 调整年龄、社会经济状况(文化程度、职业、家庭年收入、婚姻状况)和生活方式(吸烟、饮酒、饮食习惯、体力活动);模型2 在模型1基础上增加初潮年龄,生育孩子数;a *P*<0.05。

3 讨　论

本研究发现,绝经年龄提前或推迟均增加绝经后肌肉率减少的风险,与骨量占比无关联。有研究表明,绝经年龄提前与少肌症和肌肉力量差有关。一项对 493 名 40～89 岁西班牙女性的研究发现[13],45 岁以前绝经的女性患肌肉减少症的概率更高;另一项对 756 名波兰女性的研究则发现[5],在 50～70 岁年龄段中,绝经年龄<50 岁的受试者肌肉力量明显低于 50 岁以后绝经的受试者。以上研究均未能进一步分析绝经年龄延迟与肌肉质量或肌肉力量的相关性,这可能与研究对象来源不同以及人数较少等有关。Velez M P 等[14]从国际老龄化流动性研究(IMIAS)中选取 775 名来自阿尔巴尼亚、巴西、哥伦比亚和加拿大的绝经后女性(65～74 岁)进行回顾性队列研究,结果发现,绝经年龄过早者(<40 岁)握力较低,绝经年龄延迟者(≥55 岁)步行速度较快;研究进一步分析发现,仅发现阿尔巴尼亚和拉丁美洲妇女绝经年龄与握力有关,在阿尔巴尼亚妇女发现绝经年龄与步行速度有关,而在加拿大妇女中未观察到任何关联;研究提示,过早或过晚绝经不仅导致肌肉功能变差,也会使女性身体其他机能降低,继而影响其身体功能及生活质量。肌肉率减少意味着肌肉质量减少,肌肉质量减少可表现出握力降低,行走速度下降,因此,该研究结论与本研究结果类似。

绝经后女性卵巢功能逐渐衰退,而雌激素大部分由卵巢分泌,因此雌激素波动性下降,体内的促性腺激素波动性上升[15–16]。由于循环雌激素和黄体酮的减少,绝经后女性的性激素会发生显著变化[17–18],其身体成分如脂肪、肌肉、骨骼与肌肉力量也会发生变化,易出现脂肪增加、腹部脂肪堆积、肌肉质量减少和肌肉力量下降的情况[15, 19]。而 17 β–雌二醇是肌肉能量通路的上游调节因子,绝经后卵巢功能的丧失导致 17 β–雌二醇循环水平降低,骨骼肌肉质量下降,瘦体重减少[17]。骨骼肌减少症多数机制均与内脏肥胖有关[20],而绝经年龄提前或推迟均增加肥胖的风险。绝经年龄提前往往预示着卵巢早衰,雌激素接触时间缩短,低水平雌激素影响身体功能和肌肉质量,雌激素受体 α 较少或活性较低,交感神经系统激活棕色脂肪组织产热降低,抑制能量消耗和增加食欲,进而导致体脂增加,以及影响脂肪组织分布,有利于腹部脂肪的积累[21]。绝经年龄延迟与高雌激素水平有关,雌激素水平过高,会抑制人体肌细胞中基础代谢和胰岛素刺激的葡萄糖氧化,从而增加脂肪累积的风险[22– 23]。一些研究表明,脂肪细胞可以通过释放 IL-6 和 TNF-α 促进脂肪量的积累损害肌肉功能,从而导致骨骼肌减少症[24–25]。过早绝经可能与围生期病史、早期社会生殖结果和逆境以及成年期社会和健康状况不佳等因素有关[14]。此外,绝经年龄提前或延迟也可能与不良的饮食习惯或其他生育因素有关,如绝经年龄较晚可能与胎次增多[26]、肉类消费过多等有关[27],这些对女性肌肉质量也造成一定的间接影响。不过,自然绝经年龄提前与推迟与绝经后肌肉质量减少关联的机制仍有待进一步探究。

本研究选择来自社区常住居民为研究对象,样本量相对较大,且综合考虑了相关混杂因素并进行调整,研究结果较为客观全面。但研究也有不足。首先,通过问卷调查获取自然绝经年龄可能存在回忆偏倚,但女性绝经标志比较明显,一般来说记忆深刻,因此,导致回忆偏倚的可能性较小。其次,本研究利用队列基线数据进行横断面研究,无法得出因果关系结论,后续还需在前瞻性队列研究中加以验证。

综上所述,本研究发现自然绝经年龄提前或延迟均可增加绝经后中老年女性肌肉率减少风险,未发现与骨量占比减少相关。研究结果对促进绝经后妇女健康保健有积极的参考作用。绝经年龄提前或延迟的女性,建议采用饮食调节和适当运动等方式加以干预,尽早预防肌肉过早退化。

参考文献

[1] Saggese G, Baroncelli G I, Bertelloni S. Puberty and bone development[J]. Best Practice and Research Clinical Endocrinology and Metabolism, 2002, 16(1): 53-64.

[2] 陈永浩. 老年女性人群中生殖生育相关因素与骨骼肌减少症的关联性及潜在机制研究 [D]. 苏州: 苏州大学, 2022.

[3] Remels A H V, Gosker H R, Langen R C J, et al. The mechanisms of cachexia underlying muscle dysfunction in COPD[J]. Journal of Applied Physiology, 2013, 114(9): 1253-1262.

[4] Lee E S, Park H M. Prevalence of sarcopenia in healthy Korean elderly women[J]. Journal of Bone Metabolism, 2015, 22(4): 191-195.

[5] Fugiel J, Ignasiak Z, Skrzek A, et al. Evaluation of relationships between menopause onset age and bone mineral density and muscle strength in women from south-western Poland[J]. BioMed Research International, 2020, 2020: 5410253.

[6] 吴永君, 张维森, 周柏靖, 等. 广州中老年人肌肉质量和内脏脂肪与代谢综合征的相关性研究 [J]. 中国慢性病预防与控制, 2022, 30(6): 452-456.

[7] Fu Y L, Yu Y Q, Wang S B, et al. Menopausal age and chronic diseases in elderly women: a cross-sectional study in Northeast China[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2016, 13(10): 936.

[8] Mishra G D, Chung H F, Cano A, et al. EMAS position statement: predictors of premature and early natural menopause[J]. Maturitas, 2019, 123: 82-88.

[9] Xu L, Lam T H, Jiang C Q, et al. Changes in adiposity in an older Chinese population in rapid economic transition[J]. Obesity, 2016, 24(10): 2217-2223.

[10] 何权瀛, 高莹慧. 关于吸烟问题若干名词定义 [J]. 中华结核和呼吸杂志, 2009, 32(1): 56.

[11] 马冠生, 朱丹红, 胡小琪, 等. 中国居民饮酒行为现况 [J]. 营养学报, 2005, 27(5): 362-365.

[12] Deng H B, Macfarlane D J, Thomas G N, et al. Reliability and validity of the IPAQ-Chinese: the Guangzhou Biobank Cohort study[J]. Medicine and Science in Sports and Exercise, 2008, 40(2): 303-307.

[13] Blümel J E, Salinas C, Danckers L, et al. Muscle health in Hispanic women. REDLINC Ⅶ[J]. Climacteric, 2020, 23(2): 184-191.

[14] Velez M P, Alvarado B E, Rosendaal N, et al. Age at natural menopause and physical functioning in postmenopausal women: the Canadian longitudinal study on aging[J]. Menopause, 2019, 26(9): 958-965.

[15] Conceicao M S, Bonganha V, Vechin F C, et al. Sixteen weeks of resistance training can decrease the risk of metabolic syndrome in healthy postmenopausal women[J]. Clinical Interventions in Aging, 2013, 8: 1221-1228.

[16] Iwasa T, Noguchi H, Tanano R, et al. Age-dependent changes in the effects of androgens on female metabolic and body weight regulation systems in humans and laboratory animals[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2023, 24(23): 16567.

[17] Laakkonen E K, Soliymani R, Karvinen S, et al. Estrogenic regulation of skeletal muscle proteome: a study of premenopausal women and postmenopausal MZ cotwins discordant for hormonal therapy[J]. Aging Cell, 2017, 16(6): 1276-1287.

[18] Messier V, Rabasa-Lhoret R, Barbat-Artigas S, et al. Menopause and sarcopenia: a potential role for sex hormones[J]. Maturitas, 2011, 68(4): 331-336.

[19] 金一琛. LESMILLS 训练与抗阻力训练对成年人身体成分影响的对比研究 [D]. 上海: 上海师范大学, 2021.

[20] Choi K M. Sarcopenia and sarcopenic obesity[J]. The Korean Journal of Internal Medicine, 2016, 31(6): 1054-1060.

[21] Lizcano F, Guzman G. Estrogen deficiency and the origin of obesity during menopause[J]. BioMed Research International, 2014, 2014: 757461.

[22] Zsakai A, Karkus Z, Utczas K, et al. Body fatness and endogenous sex hormones in the menopausal transition[J]. Maturitas, 2016, 87: 18-26.

[23] Gupte A A, Pownall H J, Hamilton D J. Estrogen: an emerging regulator of insulin action and mitochondrial function[J]. Journal of Diabetes Research, 2015, 2015: 916585.

[24] Arthur S T, Cooley I D. The effect of physiological stimuli on sarcopenia; impact of Notch and Wnt signaling on impaired aged skeletal muscle repair[J]. International Journal of Biological Sciences, 2012, 8(5): 731-760.

[25] Roth S M, Metter E J, Ling S, et al. Inflammatory factors in age-related muscle wasting[J]. Current Opinion in Rheumatology, 2006, 18(6): 625-630.

[26] Loh F H, Khin L W, Saw S M, et al. The age of menopause and the menopause transition in a multiracial population: a nation-wide Singapore study[J]. Maturitas, 2005, 52(3/4): 169-180.

[27] Wang M, Gong W W, Hu R Y, et al. Age at natural menopause and associated factors in adult women: findings from the China Kadoorie Biobank study in Zhejiang rural area[J]. PLoS One, 2018, 13(4): e0195658.