

台灣基層糖尿病學會

糖尿病醫學新知-期刊摘錄

苗栗心安診所

劉俐君 營養師

中文題目：在減重過程中有無運動其胰島素敏感性對瘦肉組織扮演的角色

英文題目：The Role of Insulin Sensitivity in Lean Mass Changes During Weight Loss With or Without Exercise

作者：Ciera L Bartholomew, Catia Martins, Barbara Gower.

出處：Obesity (Silver Spring, Md.), 33(11), 2103–2111.

摘要

研究目的：此研究目的旨在於調查飲食介入的減重計畫(diet-induced weight loss program)中，無論是否有運動介入，基線胰島素敏感性(baseline insulin sensitivity, S_I) 與總瘦肉組織(lean mass, LM) 和四肢瘦肉組織 (appendicular LM, ALM) 變化之間的關聯。

研究方法：針對 21 至 41 歲超重的停經前女性的體重減輕計畫進行次級資料分析。女性隨機分配到三個組別：僅飲食控制、飲食控制搭配有氧運動或飲食控制搭配阻力訓練。身體組成使用雙能量 X 光吸收儀吸收測定法進行評估，而 S_I 則使用靜脈葡萄糖耐量試驗進行評估。使用多元線性迴歸來確定基線 S_I 是否能預測 LM 和 ALM 的變化。

研究結果：在調整共變數後後，組別與胰島素敏感性 (S_I) 交互作用於總瘦肉組織 ($\beta=0.474$, $p=0.003$, 調整後 $r^2=0.371$) 與四肢瘦肉組織 ($\beta=0.462$, $p=0.009$, 調整後 $r^2=0.231$) 的變化皆呈現顯著影響。此結果顯示，基線胰島素敏感性較高與較少瘦肉量流失相關，但此關聯僅出現在未進行運動的女性中。

1. **結論：**減重計畫僅飲食控制，較高基線胰島素敏感性與瘦肉組織保留表現較佳相關，但在介入運動（有氧或阻力訓練）的情況下則無此關聯。此結果再次強調，在所有體重控制的介入中納入運動的重要性。引言

自 1990 年以來，全球肥胖率已翻倍，肥胖與多種死亡原因及第二型糖尿病相關，因此治療重要。雖然減重可透過飲食與運動、手術或藥物達成，但都會造成除脂肪體重(fat free mass, FFM)流失，其中高齡肥胖者約有 20~30%的減重來自此部分。

FFM 包含肌肉與器官，其去除骨礦物稱為瘦肉組織，包括全身與四肢肌肉。瘦肉組織流失受年齡、性別、BMI、熱量限制、運動型態與飲食等因素影響。瘦肉組織重量與全因死亡率呈 U 型關聯，維持肌肉量對死亡率、生活品質與代謝功能很重要。

此研究團隊先前已證實胰島素敏感性較高與較少瘦肉組織流失相關，但尚未在運動情境中探討。由於不同運動型態對肌肉保留效果不同，本研究評估基線胰島素敏感性與瘦肉組織變化之關聯，並探討運動是否改變此關係。

2. 方法

2.1 研究設計：本研究為減重介入試驗，受試者隨機分派至三組：僅飲食控制、飲食控制搭配氧運動或飲食控制搭配阻力訓練。介入持續至受試者達到 $BMI \leq 25 \text{ kg/m}^2$ 。

2.2 受試者：招募 21~48 歲女性（白人及非裔），符合條件者需 BMI 27~30 kg/m^2 、不吸菸、葡萄糖耐受正常、過去一年運動少於每週一次、有肥胖家族史、月經規律，且未服用影響代謝或體組成的藥物，所有人簽署知情同意書。

2.3 研究流程：所有測試於濾泡期進行。住院測量後開始減重期，採 800 kcal/日飲食，營養比例一致（醣類 64%、蛋白質 21%、脂肪 15%），體重每週監測兩次至達 $BMI \leq 25$ 。運動組在監督下開始接受訓練。

2.4 運動介入：每週訓練三次，持續約 50 分鐘，由研究人員監督。

2.4.1 有氧運動：從 20 分鐘、67% 最大心率起始，逐步增加至第 8 週達持續運動 40 分鐘、強度達最大心率 80%並維持至研究結束，模式包含自行車訓練、階梯踏步、步行及跑步。

2.4.2 阻力訓練：暖身後進行多項阻力運動，包括深蹲、腿部伸展、肘屈曲、三頭肌伸展、滑輪下拉、臥推以及下背伸展，前 4 週每個項目進行 1 組，每組 10 次，之後為兩組，以受試者最大單次重量的 80% 作為訓練強度，每 3 週重新評

估一次肌力。

2.5 結果測量：基線與減重後測量，皆禁食 ≥ 12 小時。

2.5.1 體重與體組成：以 DXA 測定體組成及四肢瘦肉組織，變化量為減重後值扣除基線值計算。

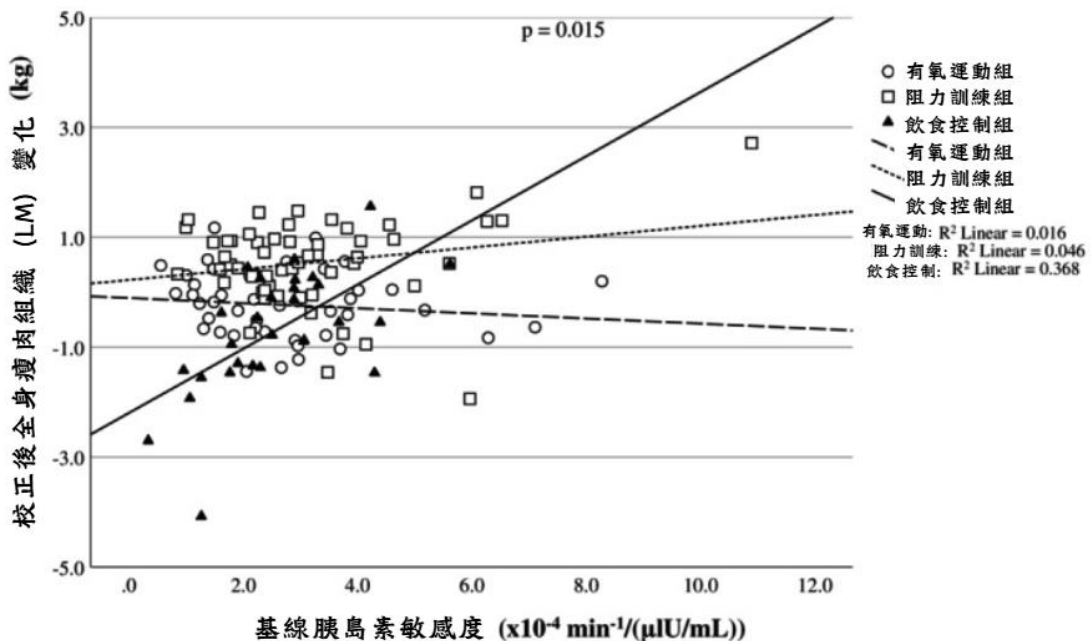
2.5.2 IVGTT：透過靜脈葡萄糖耐受試驗測量 S_I ，按既定程序輸注葡萄糖與胰島素並採血分析。

2.5.3 荷爾蒙分析：葡萄糖與胰島素於同一實驗室分析，具有既定靈敏度與變異係數。

2.5.4 數學模型：將 IVGTT 的葡萄糖與胰島素輸入 MINMOD 計算胰島素敏感性。

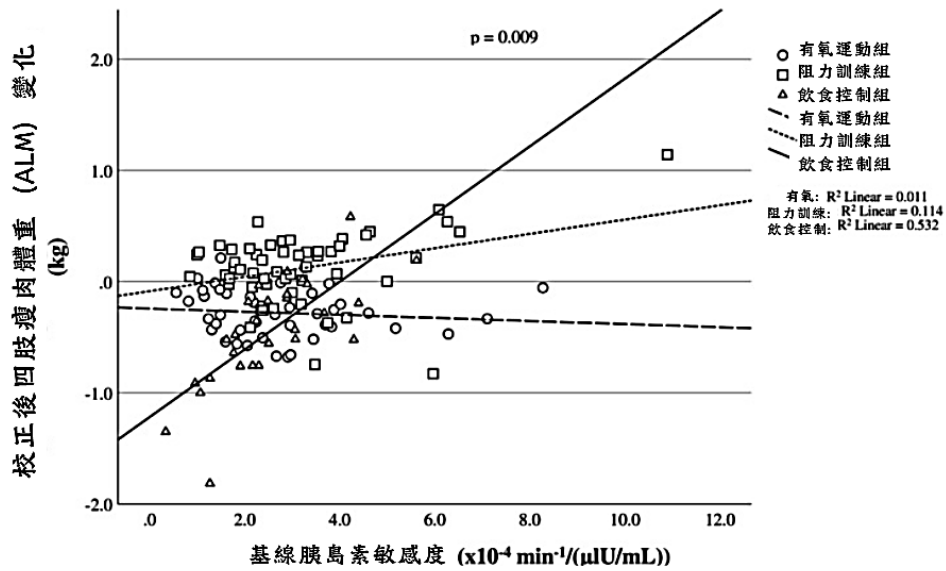
2.6 統計分析：使用 SPSS 22，以 $p < 0.05$ 為顯著。依常態性檢查並對非常態變數取對數。配對 t 檢定比較前後變化，ANCOVA 比較組間差異。226 人中有 127 人具完整資料納入分析，其餘因資料缺漏或離群值排除。以多元線性迴歸檢驗基線 S_I 與 LM、ALM 變化的關聯，調整體重減少量、基線 FM、AIRg、LM、種族、介入組別及交互作用等共變項。

FIGURE 1.



在校正共變項後，顯示基線胰島素敏感度 (S_I) 與減重期間全身瘦肉組織 (LM) 變化之關聯的散佈圖。全身瘦肉組織的變化是以基線值減去減重後的數值來計算。

FIGURE 2.



在校正共變項後，顯示基線胰島素敏感度 (SI) 與減重期間四肢瘦肉體重 (ALM) 變化之關聯的散佈圖。四肢瘦肉量的變化是以基線值減去減重後的數值來計算。

3. 結果

本研究共納入 127 名受試者：飲食控制組 (n=29)、阻力訓練組 (n=55)、有氧運動組 (n=43)，如表 1，三組基線 BMI 皆約為 28 kg/m²。整體平均減重 11.4 ± 2.4 kg。僅阻力訓練組之總 LM 於減重後顯著增加 (p < 0.001)，飲食控制組與有氧運動組則未見變化。ALM 於飲食控制組與有氧運動組顯著下降 (p = 0.022、p = 0.010)，阻力訓練組則未下降。校正基線值後，各組於減重後的總 LM 與 ALM 皆呈現顯著組間差異 (總 LM：f = 9.32，p < 0.001；ALM：f = 6.42，p = 0.002)。事後分析顯示，阻力訓練組的總 LM 與 ALM 皆顯著高於有氧運動組 (LM：p = 0.008；ALM：p = 0.021) 及飲食控制組 (LM：p = 0.006；ALM：p = 0.030)，而有氧運動組與飲食控制組之間無顯著差異。

多元線性迴歸分析顯示，基線 S_I 與 LM 變化之關聯受介入組別影響，分別列於 Table 2、Table 3。於校正共變項後，組別 × S_I 對總 LM 變化具顯著交互作用 (β = 0.410，p = 0.015，adjusted r² = 0.322)，對 ALM 變化亦具顯著交互作用 (β = 0.468，p = 0.009，adjusted r² = 0.231)。S_I 與 LM、ALM 的關聯在飲食控制組與阻力訓練組中為正相關，在有氧運動組中則為負相關，此結果可見於 Figure 1 與 Figure 2。

TABLE 1 | 各組隨時間變化之一般特徵與人體測量指標

變項	飲食控制組 (n=29)			阻力運動組 (n=55)			有氧運動組 (n=43)		
	Baseline	減重後	p	Baseline	減重後	p	Baseline	減重後	p
年齡 (years)	35.5±5.6			33.4±5.8			35.3±6.9		
種族% (AA)	41.4%			51.1%			51.2%		
S ₁ (×10 ⁻⁴ min ⁻¹ / (μIU/mL))	2.5±1.1			3.1±1.7			2.7±1.6		
AIRg (μIU/mL ×10 min)	617±384			750±430			788±552		
到達BMI的天數 <25 kg/m ²	146±44			157±76			160±74		
BMI (kg/m ²)	28.2±1.2	23.8±1.1	<0.001	28.1±1.1	23.9±1		28.3±1.4	23.8±1.1	<0.001
Body weight (kg)	77±7.5	65.5±6.4	<0.001	77.5±7.7	66.3±6.6	<0.001	76±7	64±6.3	<0.001
Fat mass (kg)	33.9±5.1	22.2±4.6	<0.001	33.5±5.2	22±4.3	<0.001	33.5±5	22.7±4.6	<0.001
LM (kg) ^a	41.2±3.8	40.5±3.6	0.049	41.1±4	42.2±4	<0.003	40.4±4.9	39.4±3.5	0.173
Appendicular LM (kg) ^a	18.8±2.3	18.3±2.3	0.022	19.3±2.1	19.4±2.2	0.256	18.4±1.9	18.2±2	0.010
LM loss (kg)		-0.77±2.2			0.64±1.4			-0.35±1.4	
ALM loss (kg)		-0.43±0.97			0.12±0.72			-0.30±0.76	
FFM loss (kg)		-0.83±2.6			0.52±1.4			-0.47±1.33	

註：資料以平均值 ± 標準差及百分比呈現。p < 0.05 代表各組內隨時間變化達統計顯著。阻力訓練組與有氧運動組及僅飲食控制組之間存在差異，而有氧運動組與僅飲食控制組之間則未見差異。

縮寫：AA，非裔美國人；AIRg，葡萄糖的急性胰島素反應；ALM，四肢瘦肉組織；FFM，除脂肪重量；LM，總瘦肉組織；S₁，胰島素敏感性。

a 表示在校正基線測量值後，經事後分析顯示，減重後 LM 與 ALM 於各組之間存在統計上顯著差異。

TABLE 2 | 預測總瘦肉重量變化的多元線性迴歸模型

Predictor	β coefficient (95% CI)	p	Adjusted R ²
Model		<0.001	0.322
種族	0.111 (-0.193 to 0.897)	0.203	
組別	0.363 (0.580 to 2.15)	<0.001	
體重下降 (kg)	0.445 (0.171 to 0.406)	<0.001	
Baseline FM (kg)	0.107 (-0.023 to 0.089)	0.239	
Baseline LM (kg)	-0.136 (-0.118 to 0.007)	0.080	
Baseline AIRg (μIU/mL ×10 min)	0.081 (0.000 to 0.001)	0.383	
Baseline S ₁ (×10 ⁻⁴ min ⁻¹ / (μIU/mL))	-0.170 (-0.489 to 0.150)	0.295	
Group*S ₁ interaction	0.410 (0.036 to 0.330)	0.015	

TABLE 3 | 預測四肢瘦肉重量變化的多元線性迴歸模型

Predictor	β coefficient (95% CI)	p	Adjusted R ²
Model		<0.001	0.231
種族	0.155 (-0.059 to 0.546)	0.114	
組別	0.377 (0.290 to 1.12)	0.001	
體重下降 (kg)	0.306 (0.045 to 0.151)	<0.001	
Baseline ALM (kg)	-0.077 (-0.090 to 0.033)	0.367	
Baseline AIRg (μIU/mL ×10 min)	0.002 (0.000 to 0.000)	0.983	
Baseline S ₁ (×10 ⁻⁴ min ⁻¹ / (μIU/mL))	-0.199 (-0.266 to 0.070)	0.249	
Group*S ₁ interaction	0.468 (0.027 to 0.181)	0.009	

註：變異膨脹因子 (VIF) 皆 < 5。

種族：0 = 歐裔美國人 (EA)，1 = 非裔美國人 (AA)；組別：1 = 有氧運動，2 = 阻力訓練，3 = 飲食控制。

縮寫：AIRg，葡萄糖的急性胰島素反應；FM，脂肪量；LM，瘦肉組織；ALM，四肢瘦肉組織；S₁，胰島素敏感性。

4. 討論

本研究探討在包含僅飲食控制、飲食控制搭配有氧運動或飲食控制搭配阻力訓練之減重介入中，基線 S_I 與 LM 變化之間的關聯。整體而言，受試者平均減重 11.4 ± 2.4 kg。飲食控制組與有氧運動組的 ALM 皆出現顯著下降，而阻力訓練組則出現總瘦肉量顯著增加。總 LM 與 ALM 的變化皆和組別 $\times S_I$ 呈現顯著交互作用，顯示較高的基線 S_I 與較佳的 LM 保留相關，但僅出現在飲食控制組中。此結果顯示，當減重計畫搭配運動時， S_I 對 LM 保留的影響較不明顯。

這些結果與先前的縱向研究一致：在控制下的減重計畫中，基線 S_I 可預測總 LM 與 ALM 的變化。此外兩項控制性減重研究發現 S_I 與 LM 流失呈負相關。另有多項橫斷面研究顯示，較低的 LM 常伴隨較高的胰島素阻抗。然而，這些研究皆未納入運動介入，且僅有一項縱向研究以有效且可靠的方法評估基線 S_I 。本研究使用進階技術評估基線 S_I 與體組成，亦納入兩種運動型態，且皆為個別處方並加以監督。

熱量平衡對於決定攝入胺基酸的代謝去向至關重要，因其可使胺基酸主要用於蛋白質合成，而非用以滿足能量需求。在減重與熱量限制期間，蛋白質會被分解，且全身蛋白質分解與合成皆會下降，尤其在熱量限制時間較長時更為明顯。然而當運動合併熱量限制時，蛋白質作為熱量與非熱量功能之間的平衡可能會改變。有研究顯示，有氧運動與阻力訓練在減重期間對 LM 的影響不同。相較於阻力訓練，有氧運動可能對骨骼肌產生分解代謝作用；相對地，阻力訓練是對抗 LM 流失的重要策略，且在減重期間常可維持或減少 LM 的流失。

在本研究中，基線 S_I 與 LM 變化之間的關聯在飲食控制組中最为明顯。阻力訓練組在此關聯較弱，可能是因該組隨時間出現總 LM 增加，且 ALM 未見變化。阻力訓練較有氧運動更具合成作用，蛋白質合成增加幅度大於蛋白質分解。相對地，多項研究顯示，透過白胺酸消失率測定 (determined by leucine disappearance)，有氧運動期間全身蛋白質分解呈現增加。因此，有氧運動與阻力訓練對於蛋白質代謝的獨立影響，可能掩蓋了在飲食控制組中觀察到的基線 S_I 與總 LM 及 ALM 變化之間的關係。

本分析顯示，當僅透過飲食控制達成減重時，較高的基線 S_I 對瘦肉組織具有保護效果。這可能與胰島素影響肌肉中胺基酸調節進出有關。在胰島素輸注的情境下，血漿胺基酸濃度下降，肌肉蛋白質分解受到抑制，顯示胰島素可調控肌肉蛋白質轉換。而在運動組中未觀察到基線 S_I 與 LM 流失之間的關聯，顯示運動可能超越或掩蓋 S_I 對肌肉蛋白質代謝的影響。

在本研究中，阻力訓練組的總 LM 與 ALM 皆呈增加趨勢，儘管 ALM 的增加未達統計顯著。相對地，有氧運動組與飲食控制組的 ALM 則出現下降。由於大多數運動皆使用手臂與腿部，ALM 未顯著增加實屬令人意外。其一可能解釋為 DXA 測量瘦組織的限制。DXA 評估的瘦組織中含有大量水分，水分變化可能影響測量結果。運動亦會改變肌肉肝醣含量，進而影響全身水分，最終影響 DXA 所測得的去脂體重。未來研究需進一步釐清減重期間 LM 變化的性質，以及 S_I 與運動型態如何影響這些變化。

本研究中，作為 LM 所佔的減重比例小於先前文獻對飲食控制減重計畫的描述。本次次級分析將所有組別（飲食控制、飲食控制搭配有氧運動、飲食控制搭配阻力訓練）合併分析，可解釋部分差異。然而即便在飲食控制組中，LM 流失比例仍較低。飲食中較高的蛋白質比例（占總能量 21%）、受試者年齡較低，以及僅納入女性（非裔與歐裔）等因素，亦可能影響 LM 流失比例的差異。

本研究具優勢在於所有運動訓練皆由專業人員監督，所有飲食皆由研究單位提供，且各組蛋白質攝取量相近；同時亦使用經驗證且可靠的方法評估 S_I 與體組成。其限制在於無法建立基線 S_I 與 LM 流失之間的因果關係。此外，本研究結果仍需在其他族群中重複驗證，包括高齡者、男性及使用新型抗肥胖藥物者。未來研究應以磁共振造影等方法評估骨骼肌量，並進一步探討 S_I 調控減重期間 LM 變化的機制。

以結論而言，本研究結果再次強調，在熱量限制的減重計畫中納入運動的重要性。對於無法進行運動者，評估其基線 S_I 可能有助於進行個人化營養介入，以降低瘦肉組織流失。

◇ 閱讀心得：

此研究指出，單靠飲食控制時，個案本身的代謝狀態胰島素敏感性會明顯影響瘦肉組織是否流失，然而一旦加入運動，尤其是阻力訓練，這個影響就會被大幅弱化。

Hunter 等人指出，阻力訓練可在減重期間維持除脂肪重量 (fat free mass, FFM) 與靜態能量消耗 (resting energy expenditure, REE)，而僅有氧運動或未運動者則出現下降。^{1,2} 此外，2017 年的一篇 Review 指出，耐力型與阻力型運動皆有助於在減重過程中維持肌肉量，但阻力型運動同時也能提升肌力。因此建議肥胖者在進行低熱量飲食進行減重時，除了足量的蛋白質攝取，也需增加身體活動量，特別是阻力訓練，以維持肌肉量並改善肌力與身體功能。³ 即使在使用現階段當紅的 GLP-1 RA 藥物進行減重，Mehrtaash et al. 在 2025 年的文獻依然建議結合飲食與運動介入，以達到最佳治療效果，其原因：GLP-1 RA 雖能透過抑制食慾、延緩胃排空與改善代謝，協助個案降低總熱量攝取並進一步減重，但藥物造成的「進食量下降」也可能連帶導致蛋白質攝取不足與活動量下降，使瘦肉組織面臨流失風險，反而不利於長期體重維持與健康結果。因此，藥物治療應被視為體重管理的輔助工具，其核心策略仍在於飲食控制與運動介入。⁴

飲食方面，蛋白質的補充亦是減重期間保留瘦肉重量的重要因素。由於人體無法自行合成必需胺基酸 (essential amino acids, EAA)，必須仰賴飲食攝取。高品質蛋白是指能有效支持身體合成肌肉蛋白之蛋白質來源，通常具有完整且含量充足的必需胺基酸，能更有效促進肌肉修復與蛋白合成。此外，高品質蛋白亦多具備較好的消化吸收率，進而更能支持減重期間瘦肉組織的維持。國際運動營養學會 (International Society of Sports Nutrition, ISSN) 的立場表明：阻力訓練與蛋白質攝取可產生加乘效果以提升肌肉合成；對多數規律運動者而言，每日建議攝取 1.4~2.0 g/kg 的蛋白質。且將蛋白質分散於一日的餐食中 (每 3~4 小時)，每餐提供約 20~40g 高品質蛋白與足量白胺酸 (leucine)，白胺酸是必需胺基酸之一，被認為能啟動肌肉合成相關機制，有助於促進肌肉生成並減少分解，此外也建議阻力訓練作為運動介入的核心。⁵ 如果時間允許，有氧運動則可以進一步改善體脂肪和心血管代謝功能。⁶

綜上述所言，阻力訓練與足量蛋白質攝取可能有助於減重期間維持瘦體組

織與肌力，並減弱胰島素敏感性所造成的代謝差異，因此臨床上可將其作為減重介入的重要建議之一。然而，本研究對象僅限於 21~41 歲之停經前女性，且屬次級資料分析，其結果之推論受族群與研究設計限制；是否同樣適用於男性、高齡者、糖尿病個案或其他族群，仍需更多研究驗證。



◆ Reference :

1. Hunter, G. R., Byrne, N. M., Sirikul, B., Fernández, J. R., Zuckerman, P. A., Darnell, B. E., & Gower, B. A. (2008). Resistance training conserves fat-free mass and resting energy expenditure following weight loss. *Obesity (Silver Spring, Md.)*, 16(5), 1045 – 1051.
<https://doi.org/10.1038/oby.2008.38>
2. Hunter, G. R., Bryan, D. R., Borges, J. H., Diggs, M., & Carter, S. J. (2018). Racial differences in relative skeletal muscle mass loss during diet-induced weight loss in women. *Obesity*, 26(8), 1255–1260.
<https://doi.org/10.1002/oby.22201>
3. Cava, E., Yeat, N. C., & Mittendorfer, B. (2017). Preserving healthy muscle during weight loss. *Advances in Nutrition*, 8(3), 511–519.
<https://doi.org/10.3945/an.116.014506>
4. Mehrtash, F., Dushay, J., & Manson, J. E. (2025). Integrating Diet and Physical Activity When Prescribing GLP-1s-Lifestyle Factors Remain Crucial. *JAMA Internal Medicine*, 185(9), 1151–1152.
<https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2025.1794>
5. Jäger, R., Kerksick, C. M., Campbell, B. I., Cribb, P. J., Wells, S. D., Skwiat, T. M., Purpura, M., Ziegenfuss, T. N., Ferrando, A. A., Arent, S. M., Smith-Ryan, A. E., Stout, J. R., Arciero, P. J., Ormsbee, M. J., Taylor, L. W., Wilborn, C. D., Kalman, D. S., Kreider, R. B., Willoughby, D. S., Hoffman, J. R., ... Antonio, J. (2017). International Society of Sports Nutrition position stand: Protein and exercise. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 14, 20. <https://doi.org/10.1186/s12970-017-0177-8>
6. Grosicki, G. J., Dhurandhar, N. V., Unick, J. L., Arent, S. M., Thomas, J. G., Lofton, H., Shepherd, M. C., Kiel, J., Coleman, C., & Jonnalagadda, S. S. (2024). Sculpting Success: The Importance of Diet and Physical Activity to Support Skeletal Muscle Health during Weight Loss with New Generation Anti-Obesity Medications. *Current developments in nutrition*, 8(11), 104486. <https://doi.org/10.1016/j.cdnut.2024.104486>