

养分相互作用 ——为了终生 强壮的骨骼



摘要

钙是一生中构建和维持正常骨骼的关键营养素。然而，营养研究表明，许多其他营养素——包括维生素 D、磷、镁和蛋白质——也发挥着作用，这不仅是因为它们各自对骨骼矿物质密度（骨密度）的贡献，还因为各营养素之间的相互作用。例如，一个法国专家小组就建议利用钙和优质动物蛋白共同促进骨质疏松症的预防和治疗¹。这表明，在与消费者沟通如何通过营养优化骨骼健康时，需要强调营养素之间相互作用的影响。

因此，本白皮书的主要目的是提供关于营养素之间相互作用的以科学为基础的交流。其潜力将通过一种基于酪蛋白的成分来展示，该成分含有不同年龄正常骨骼生长所需的多种营养素——蛋白质、钙和磷，并假设该成分可促进钙吸收。

骨骼健康授权声明示例^a

蛋白质

- 蛋白质是儿童骨骼正常生长和发育所必需的
- 蛋白质有助于维持正常的骨骼

钙

- 钙是儿童骨骼正常生长和发育所必需的
- 钙是维持正常骨骼所必需的
- 钙是维持正常牙齿所必需的
- 钙有助于减少绝经后妇女骨矿物质的流失。低骨密度是骨质疏松性骨折的危险因素

磷

- 磷是儿童骨骼正常生长和发育所必需的
- 磷有助于维持正常的骨骼
- 磷有助于维持正常的牙齿

镁

- 镁有助于维持正常的骨骼
- 镁有助于维持正常的牙齿

维生素D

- 维生素D是儿童骨骼正常生长和发育所必需的营养素
- 维生素D有助于维持正常的骨骼
- 维生素D有助于降低姿势不稳和肌肉无力相关的跌倒风险。跌倒是 60 岁及以上男性和女性骨折的危险因素
- 维生素D有助于钙和磷的正常吸收利用

^a <https://ec.europa.eu/food/food-feed-portal/screen/health-claims/eu-register>



作者

Simon Boege Riis

营养科学家、博士
阿拉食品原料集团
健康与运动营养部门

arla
foods
ingredients
powering nutrition together



强壮骨骼——每个生命阶段的注意事项

良好的营养对一生中骨骼健康至关重要²。

由于强健骨骼的基础是在儿童期和青春期奠定的³，因此意识到每一个儿童峰值骨量的遗传潜力，以降低晚年患骨质疏松症的风险是很重要的。虽然遗传是最重要的因素，但据估计，身体活动和营养等生活方式因素会影响成人峰值骨量的20-40%³。在衰老过程中，骨量下降是生活中的事实。这时，营养对于减少骨质流失和骨折风险很重要（图1）。

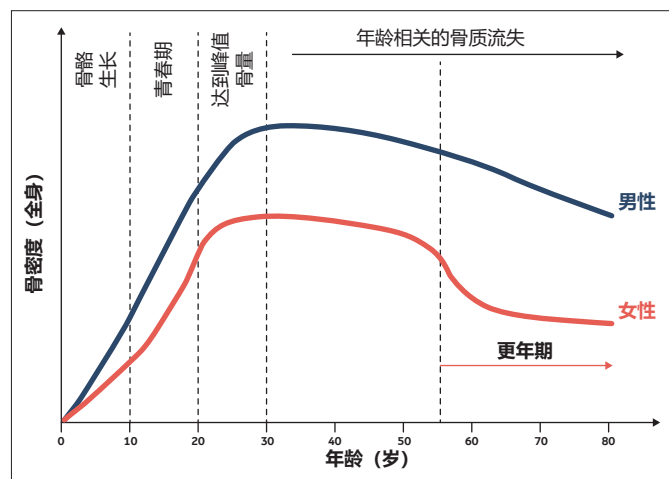


图1 终生骨量发育。前几十年的重点是建立强大的峰值骨量。随着年龄的增长，目标变化为尽量减少骨质流失——尤其是那些特别容易因更年期而骨质流失的女性。改编自Hendrickx et al. 2015。

儿童和青春期（0-18岁）

在童年和青春期，不应低估最大化峰值骨量的重要性。例如，据估计：

- 女性童年和青春期峰值骨量增加 10% 可以延缓绝经后骨质疏松症发病长达 13 年⁴。
- 童年和青春期峰值骨量增加 5-10% 可能使以后的髌部骨折减少 25-50%²。

科学家们一致认为，需要摄入足够的蛋白质和矿物质，如钙和磷，以达到最佳状态峰值骨量的发育^{3,5}。在此基础上，欧洲食品安全局（EFSA）已授权与儿童骨骼正常生长和发育有关的蛋白质、钙和磷健康声明⁶。

蛋白质是有机骨胶原基质的主要成分⁷，是建立峰值骨量所必需的营养素^{3,8}。在儿童中，应强调摄入足够膳食蛋白质的重要性。例如，一项针对营养良好的丹麦儿童的为期24周的研究发现，与蛋白质含量相当于~16 E% 的饮食相比，膳食蛋白质占总能量含量~18% E% 的饮食并没



有改善骨密度（BMD）的发育，这在儿童的推荐摄入量范围内⁹。

其他针对儿童和青少年的干预研究揭示了乳制品对骨骼健康的有益影响——特别是可能由于大量食用快餐而导致的常规饮食营养不足¹⁰。营养摄入量的差异也可能是区域性的。一项研究发现，与美洲和意大利儿童相比，中国儿童和青少年的蛋白质和钙摄入量较低，平均钙摄入量低于推荐水平¹¹。

成年期（19-59岁）

图1显示，在成年期的大部分时间里，骨量保持在相当稳定的水平。因此，营养素对成年早期建立或维持骨量的实际贡献在科学研究中很难被发现¹²。然而，正如欧洲食品安全局授权的蛋白质、钙、磷和镁健康声明所支持的那样，应持续每天摄入足够的关键营养素，以支持成年人的骨骼健康和维持正常的骨骼⁶。同样，每天给身体充足的供应是关键。身体无法储存过量的蛋白质、钙和磷摄入量以弥补摄入不足的时期（与膳食脂肪不同）。因此，钙也被认为是一种“阈值营养素”¹³。

与年龄相关的骨密度损失在绝经后妇女中尤为明显（图1），这主要是由于雌激素水平降低，雌激素是一种促进骨形成细胞活性的激素。因此，患骨质疏松症的风险增加。这解释了为什么女性骨质疏松症的全球患病率大约是男性的两倍¹⁴。因此，一些针对绝经后妇女的研究特别关注钙补充剂^{15,16}。这些发现有助于制定临床指南¹⁷，欧洲食品安全局为此授权了关于钙在帮助减少绝经后妇女骨矿物质流失方面作用的健康声明¹⁸。然而，一般来说，老年人应该特别注意减少衰老过程中的骨质流失。

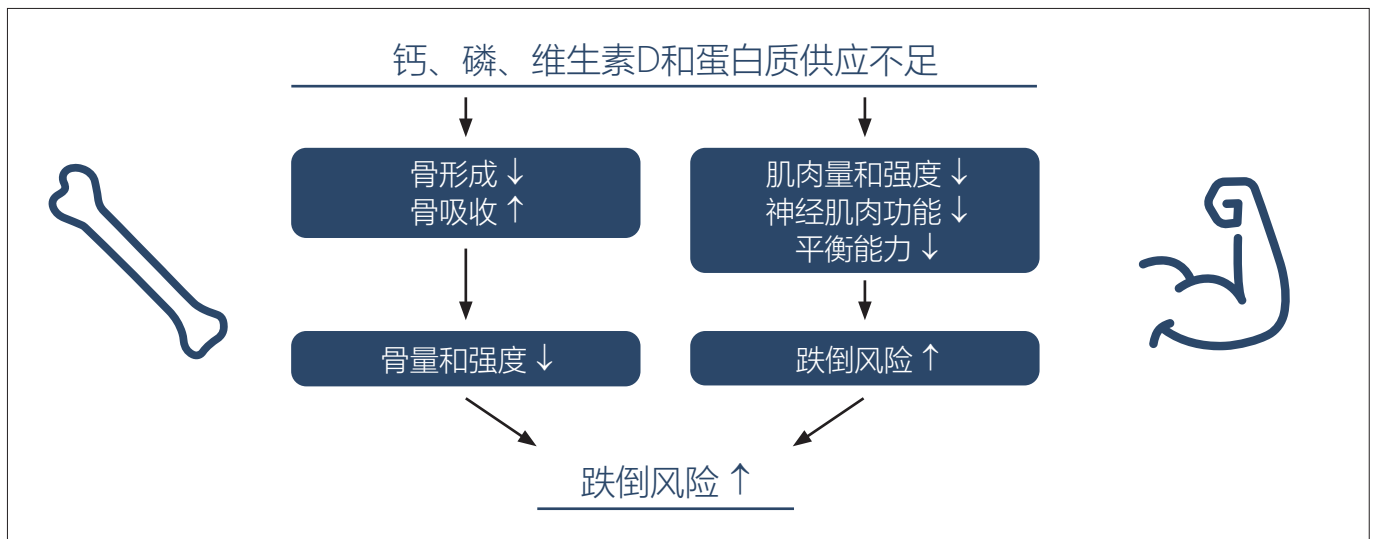


图2 关键营养素的缺乏导致骨骼和骨骼肌的量和强度下降，从而增加老年人髌部骨折风险。
改编自Bonjour et al. 2013。²²

老年人（≥60 岁）

当世界卫生组织宣布2020-2030年为“健康老龄化行动十年”时¹⁹，老年人的基本膳食需求成为人们关注的焦点。显然，低骨量（骨质减少）和脆弱的骨骼（骨质疏松症）在世界大部分地区都构成了一个严重的公共卫生问题²⁰。其中一个重要方面是逐渐增加的骨折风险和发生率，这会导致生命末期健康受损的时间更长²¹。在这种情况下，关键营养素缺乏会产生影响，其中骨骼和肌肉组织都参与相互作用^{22,23}（图 2）。

在科学文献中，蛋白质在老年骨骼健康中的作用受到了极大关注。膳食蛋白质的有益作用与改善钙吸收²⁴和增加胰岛素样生长因子1（IGF-1）水平有关，IGF-1可促进正常骨骼生长^{25,26}。这些机制可以解释为什么发现每天摄入>0.8g/kg体重的蛋白质可以降低65岁以上老年人的髌部骨折风险²⁷。

关于维持老年人的骨密度，动物源性蛋白质可能优于植物性蛋白质²⁸。对此的一种解释可能与更完整的蛋白质谱和/或动物蛋白来源通常还含有其他对骨骼重要的营养素有关。因此，一个法国专家小组建议每日蛋白质摄入量至少为1.0-1.2克/公斤体重，并强调了优质动物源蛋白质在预防和治疗骨质疏松症中的作用¹。重要的是，这一法国专家组建议推荐了足够的维生素D和钙的摄入量¹。

为什么营养相互作用是关键

钙是人的一生中经常被强调的用于维持正常骨骼的单一营养素²⁰，主要是由以下因素造成：

- 摄入足够的钙与童年时期和青春期骨骼生长及后续骨保留（尤其是更年期）的因果关系^{3,6,18}。
- 一些国家儿童和成人的观察数据表明，与推荐量相比，钙摄入量不足^{11,12}。

然而，钙就像蛋白质一样，不应该单独出现在支持正常骨骼的饮食策略中。磷和维生素D也起着关键作用：

“重要的是要记住，单独讨论钙的摄入即便不是完全不可能，也是困难的。钙代谢是钙、磷、维生素D和蛋白质之间协同努力的结果。就像管弦乐队一样，创造最终产品需要所有这些营养物质之间相互配合，无论是一首优美的歌曲还是完美的骨骼基质，都是如此。”²⁹

一个基于营养生理学的例子突显了这种营养相互作用：

- 膳食蛋白质会增加肝脏产生的IGF-1，从而增加其在血液中的水平^{25,26}。
- IGF-1与肾脏系统相互作用，将维生素D转化为活性形式²⁹。
- 活性维生素D可改善肠道对钙和磷的吸收²⁶。



在饮食中，钙和磷都是骨组织的基本组成部分。它们之间的相互作用对它们的营养贡献至关重要³⁰。单独作用时，膳食钙会损害磷的吸收，从而给老年消费者带来缺磷风险，例如，服用不含磷的钙补充剂的老年消费者³¹。然而，磷的添加既能平衡磷的吸收，又能增加肾脏对钙的重吸收^{30,32}，提高钙的生物利用度^c。这些是以相对较低的比例将钙和磷结合在补充剂中的关键论据，这可以通过使用牛奶成分（如 Capolac® 或 Lacprodan MicelPure®）来实现。这些论点的一个要点是母乳中的钙/磷质量比与人体骨骼内的钙/磷质量比相当³⁰。

蛋白质与钙之间的相互作用同样重要。20世纪60年代的酸碱假说引起了人们的担忧，即动物蛋白由于含有含硫氨基酸和磷蛋白，导致骨吸收和尿钙排泄增加。然而，目前可用的证据表明，高膳食蛋白质摄入量不会对钙平衡产生负面影响^{1,26}。事实上，在一项针对健康年轻和绝经后妇女的研究中发现，在高蛋白饮食中观察到的尿钙排泄增加伴随着肠道钙吸收的改善——而骨骼中钙的释放没有增加²⁴。

然而，虽然科学家们现在认识到膳食蛋白质有助于构建和维持儿童²⁶、成人和老年人^{27,33-36}的正常骨骼，但只有当钙摄入量也足够时，才会出现这种情况^{33,37,38}。正如年在一份专家共识论文中所指出的：“膳食蛋白质对骨骼结果的益处似乎需要足够的钙摄入量”⁸。换句话说，在对消费者宣介营养知识时，无论是针对哪个年龄段的消费者，显然需要提高对这种营养相互作用的认识，以支持正常骨骼发育。

酪蛋白胶束中的营养相互作用

当涉及到牛奶中天然存在的酪蛋白胶束时，蛋白质和钙之间的相互作用可能有特别的重要性。天然酪蛋白胶束已经进化到使牛奶能够运输大量钙。事实上，牛奶中~70%的钙和~50%的磷存在于富含蛋白质的胶束内³²。与钙吸收相关的假设是，酪蛋白胶束的缓慢消化³⁹伴随着钙从胃到肠的缓慢释放，这最终有利于钙的吸收⁴⁰（见图3）。

还有待确定的是，由于消化酪蛋白胶束而带来的肠道中钙生物可及性提高^b是否会导致生物利用度^c的提高——以及与摄入另一种成分中的相同营养素相比，这是否会转化为对骨密度的慢性影响。一项针对中国绝经后妇女的初步研究结果表明，在18个月内，每天食用牛奶比钙强化豆浆更能预防骨质流失⁴¹。通过牛奶中的酪蛋白胶束输送钙和磷或许可以解释这些结果的一部分，但确实需要更彻底的对照研究。由于钙吸收效率随着年龄的增长而下降，以优化钙生物利用度为目标的饮食策略对老年人尤为重要⁴²。

研究对骨密度和/或骨折风险影响的营养干预主要对钙、蛋白质和/或维生素D摄入不足的人群有效^{23,43}，这包括许多普遍营养不良的生活在养老院中的老年人。例如，据报道，~62%的丹麦养老院对钙推荐的依从性较低⁴⁴，而膳食蛋白质摄入不足是一些国家养老院老人面临的一个普遍问题⁴⁵⁻⁴⁷。

膳食蛋白质的摄入量可以通过营养干预来增加，而不会对养老院老人的日常食物消费产生负面影响⁴⁶。一项对7 000多名住在澳大利亚养老院的老年人的随机对照试验在这方面显示出显著结果，研究人员观察到髌部骨折风险降低了~46%，骨密度和IGF-1水平升高，从而说明了结合多种营养素相互作用对于最大限度地减少骨质流失的有益影响的重要性²³（见图3）。

^b 生物可及性是摄入的营养物质中可能可用于吸收的量——这仅取决于食物基质的消化和释放，而不包括实际的肠道吸收。

^c 生物利用度是摄入的营养素被吸收并可用于生理功能的量。

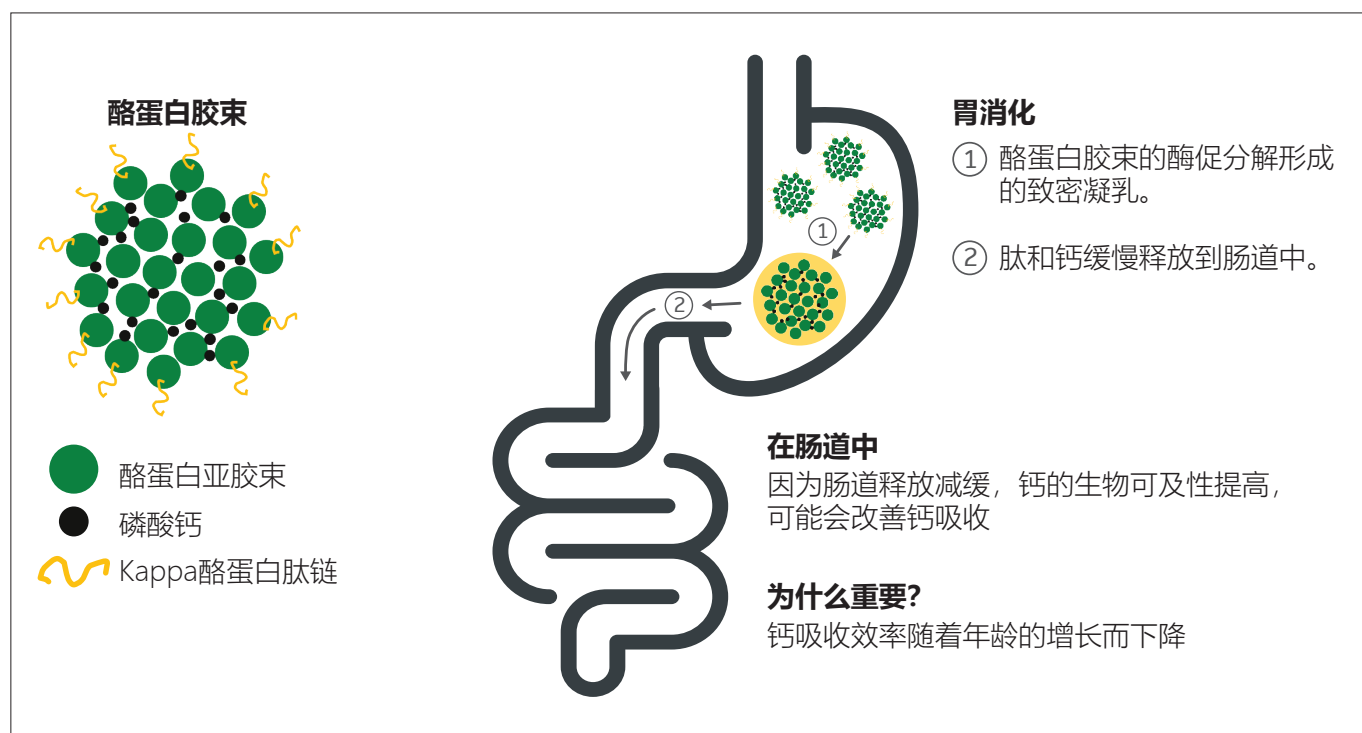


图3 左边的天然酪蛋白胶束结构包括黑色的磷酸钙纳米团簇。在胃消化过程中，致密凝结物的形成有助于这些纳米团簇缓慢释放到肠道中。这提高了可溶性钙的生物可及性。然而，生物可及性的提高是否会转化为血液中的实际摄取（从而提高生物利用度）仍有待确定。资料来源：Wang et al. 2023³⁹; Shkemi & Huppertz 2021⁴⁰; Heaney et al. ⁴²

Lacprodan MicelPure® ——丰富的酪蛋白胶束来源

虽然尚未进行研究，但使用含有蛋白质、钙和磷的乳制品蛋白质补充剂可能对骨骼健康产生有益影响。

Lacprodan MicelPure®是一种市售产品，这是一种基于酪蛋白的营养成分。它源自牛奶，蛋白质含量为~86%，其中~97%是天然酪蛋白胶束。它富含蛋白质、钙和磷，有助于维持正常骨骼，天然酪蛋白胶束含量高确保了钙以生理上有益的方式进行转运⁴⁰（图3）。

根据上述澳大利亚研究，补充15克 Lacprodan MicelPure®

可提供~13 克来自高质量蛋白质来源⁴⁸——酪蛋白的蛋白质，以及~345 毫克的钙和~200 毫克的磷。因此，对于饮食中缺乏蛋白质和矿物质的老年人和其他消费群体，我们建议使用含有 Lacprodan MicelPure®的产品。

参考文献

1. Biver, E., et al., Dietary recommendations in the prevention and treatment of osteoporosis. *Joint Bone Spine*, 2022. 90(3): p. 105521.
2. Wallace, T.C., et al., Dairy intake and bone health across the lifespan: a systematic review and expert narrative. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2021. 61(21): p. 3661-3707.
3. Weaver, C.M., et al., The National Osteoporosis Foundation's position statement on peak bone mass development and lifestyle factors: a systematic review and implementation recommendations. *Osteoporosis International*, 2016. 27(4): p. 1281-1386.
4. Laine, C.M. and T. Laine, Diagnosis of Osteoporosis in Children and Adolescents. *European Endocrinology*, 2010. 9(2): p. 141.
5. Bonjour, J.P., et al., Gain in bone mineral mass in prepubertal girls 3.5 years after discontinuation of calcium supplementation: a follow-up study. *Lancet*, 2001(358): p. 1208-12.
6. Commission Regulation (EU) 432/2012 of 16/05/2012. *Official Journal of the European Union*.
7. Heaney, R.P. and D.K. Layman, Amount and type of protein influences bone health. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2008. 87(5): p. 1567S-1570S.
8. Rizzoli, R., et al., Benefits and safety of dietary protein for bone health—an expert consensus paper endorsed by the European Society for Clinical and Economical Aspects of Osteoporosis, Osteoarthritis, and Musculoskeletal Diseases and by the International Osteoporosis Foundation. *Osteoporosis International*, 2018. 29(9): p. 1933-1948.
9. Stounbjerg, N.G., et al., Effects of vitamin D and high dairy protein intake on bone mineralization and linear growth in 6- to 8-year-old children: the D-pro randomized trial. *Am J Clin Nutr*, 2021.
10. de Lamas C., et al., Effects of dairy product consumption on height and bone mineral content in children: a systematic review of controlled trials. *Adv Nutr* 10, 2019 (suppl_2):S88-S96
11. Zhang, R., et al., The Difference in Nutrient Intakes between Chinese and Mediterranean, Japanese and American Diets. *Nutrients*, 2015. 7(6): p. 4661-4688.
12. Balk, E.M., et al., Global dietary calcium intake among adults: a systematic review. *Osteoporosis International*, 2017. 28(12): p. 3315-3324.
13. Burckhardt, P., Calcium revisited: part I. *Bonekey Rep*, 2013. 2: p. 433.
14. Salari, N., et al., The global prevalence of osteoporosis in the world: a comprehensive systematic review and meta-analysis. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 2021. 16(1).
15. Chen, Y., et al., Effect of Milk Powder Supplementation with Different Calcium Contents on Bone Mineral Density of Postmenopausal Women in Northern China: A Randomized Controlled Double-Blind Trial. *Calcified Tissue International*, 2016. 98(1): p. 60-66.
16. Reid, I.R., et al., Effect of Calcium Supplementation on Bone Loss in Postmenopausal Women. *New England Journal of Medicine*, 1993. 328(7): p. 460-464.
17. Cano, A., et al., Calcium in the prevention of postmenopausal osteoporosis: EMAS clinical guide. *Maturitas*, 2018. 107: p. 7-12.
18. COMMISSION REGULATION (EU) No 1228/2014 of 17 November 2014. *Official Journal of the European Union*.
19. Rudnicka, E., et al., The World Health Organization (WHO) approach to healthy ageing. *Maturitas*, 2020. 139: p. 6-11.
20. Shlisky, J., et al., Calcium deficiency worldwide: prevalence of inadequate intakes and associated health outcomes. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2022.
21. Shen, Y., et al., The Global Burden of Osteoporosis, Low Bone Mass, and Its Related Fracture in 204 Countries and Territories, 1990-2019. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2022. 13: p. 882241.
22. Bonjour, J.P., et al., Dairy in adulthood: from foods to nutrient interactions on bone and skeletal muscle health. *J Am Coll Nutr*, 2013. 32(4): p. 251-63.
23. Iuliano, S., et al., Effect of dietary sources of calcium and protein on hip fractures and falls in older adults in residential care: cluster randomised controlled trial. *BMJ*, 2021. 375: p. n2364.
24. Kerstetter, J.E., et al., The Impact of Dietary Protein on Calcium Absorption and Kinetic Measures of Bone Turnover in Women. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 2005. 90(1): p. 26-31.

25. Schürch, M.A., et al., Protein supplements increase serum insulin-like growth factor-I levels and attenuate proximal femur bone loss in patients with recent hip fracture. A randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Ann Intern Med*, 1998. 128(10): p. 801-9.
26. Bonjour, J.-P., The dietary protein, IGF-I, skeletal health axis. *Hormone Molecular Biology and Clinical Investigation*, 2016. 28(1).
27. Groenendijk, I., et al., High Versus low Dietary Protein Intake and Bone Health in Older Adults: a Systematic Review and Meta-Analysis. *Comput Struct Biotechnol J*, 2019. 17: p. 1101-1112.
28. Groenendijk, I., et al., Protein intake and bone mineral density: Cross-sectional relationship and longitudinal effects in older adults. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 2022.
29. Beto, J.A., The Role of Calcium in Human Aging. *Clinical Nutrition Research*, 2015. 4(1): p. 1.
30. Bonjour, J.P., Calcium and phosphate: a duet of ions playing for bone health. *J Am Coll Nutr*, 2011. 30(5 Suppl 1): p. 438s-48s.
31. Heaney, R.P. and B.E. Nordin, Calcium effects on phosphorus absorption: implications for the prevention and co-therapy of osteoporosis. *J Am Coll Nutr*, 2002. 21(3): p. 239-44.
32. Fenton, T.R., et al., Phosphate decreases urine calcium and increases calcium balance: A meta-analysis of the osteoporosis acid-ash diet hypothesis. *Nutrition Journal*, 2009. 8(1): p. 41.
33. Rizzoli, R., E. Biver, and T.C. Brennan-Speranza, Nutritional intake and bone health. *Lancet Diabetes Endocrinol*, 2021. 9(9): p. 606-621.
34. Webster, J., D.C. Greenwood, and J.E. Cade, Foods, nutrients and hip fracture risk: A prospective study of middle-aged women. *Clinical Nutrition*, 2022. 41(12): p. 2825-2832.
35. Steell, L., et al., Associations of dietary protein intake with bone mineral density: An observational study in 70,215 UK Biobank participants. *Bone*, 2019. 120: p. 38-43.
36. Weaver, A.A., et al., Effect of Dietary Protein Intake on Bone Mineral Density and Fracture Incidence in Older Adults in the Health, Aging, and Body Composition Study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2021. 76(12): p. 2213-2222.
37. Zhang, Q., et al., The association between dietary protein intake and bone mass accretion in pubertal girls with low calcium intakes. *British Journal of Nutrition*, 2010. 103(5): p. 714-723.
38. Burckhardt, P., The Negative Effect of a High-Protein-Low-Calcium Diet, in *Nutritional Influences on Bone Health*. 2013. p. 125-131.
39. Wang, K., et al., Decalcification strongly affects in vitro gastrointestinal digestion of bovine casein micelles under infant, adult and elderly conditions. *Food Hydrocolloids*, 2023. 139.
40. Shkembi, B. and T. Huppertz, Calcium Absorption from Food Products: Food Matrix Effects. *Nutrients*, 2021. 14(1): p. 180.
41. Gui, J.-C., et al., Bone mineral density in postmenopausal Chinese women treated with calcium fortification in soymilk and cow's milk. *Osteoporosis International*, 2012. 23(5): p. 1563-1570.
42. Heaney, R.P., et al., Calcium absorption in women: relationships to calcium intake, estrogen status, and age. *J Bone Miner Res*, 1989. 4(4): p. 469-75.
43. Harvey, N.C., et al., The role of calcium supplementation in healthy musculoskeletal ageing. *Osteoporosis International*, 2017. 28(2): p. 447-462.
44. Mortensen, C., et al., Adherence and barriers to the vitamin D and calcium supplement recommendation at Danish nursing homes: a cross-sectional study. *BMC Geriatrics*, 2022. 22(1).
45. Iuliano, S., et al., Dairy food supplementation may reduce malnutrition risk in institutionalised elderly. *British Journal of Nutrition*, 2017. 117(1): p. 142-147.
46. Seemer, J., et al., Usual Protein Intake Amount and Sources of Nursing Home Residents with (Risk of) Malnutrition and Effects of an Individualized Nutritional Intervention: An enable Study. *Nutrients*, 2021. 13(7): p. 2168.
47. Tieland, M., et al., Dietary Protein Intake in Dutch Elderly People: A Focus on Protein Sources. *Nutrients*, 2015. 7(12): p. 9697-9706.
48. Herreman, L., et al., Comprehensive overview of the quality of plant – And animal-sourced proteins based on the digestible indispensable amino acid score. *Food Science & Nutrition*, 2020. 8(10): p. 5379-5391.



联系方式 afi_china@arlafoods.com

阿拉食品原料集团(Arla Foods Ingredients Group P/S)
北京市西城区西直门南大街2号成铭大厦C座, 1103室

www.arlafoodsingredients.cn

免责声明

本文所含信息的所有权利均属Arla Foods Ingredients Group P/S专有。该信息不适用于最终消费者。据我们所知, 本市场营销材料所含信息可靠, 且仅可作为信息来源。本文所含信息不可作为使用任何专利或许可权的许可。用户须根据其特定用途自行对产品进行评估, 包括是否易于操作, 是否遵守适用的监管机构规定及是否符合相关食品法规。本文不作任何明示或暗示的保证。

arla
foods
ingredients
powering nutrition together

