

第二型糖尿病的低醣飲食：從實驗室到臨床

陳晶瑩¹ 何明華² 陳慧君²

¹ 臺大醫院家庭醫學部 ² 營養室

摘要

本文介紹第二型糖尿病逆轉及控制的根本飲食方式，有別於傳統糖尿病飲食，此亦可視為一種減重飲食；病人經由了解醣類食物份數計算、調整飲食內容比例，進而達到良好血糖及體重控制，人生仍是彩色的。本文從胰島素阻抗的病生理機轉，並說明低醣飲食的中心思想：「低醣、中蛋白質、高脂肪，醣類最後吃」，鼓勵病人透過實務學習醣類代換、好油選擇，同時經醫師考量藥物調整原則及安全性原則，並以本土性研究支持低醣飲食的效果，及可能持續性有效 (potential prolonged effect) 的好處，期望共多人認識及善用低醣飲食。

關鍵字：第二型糖尿病、低醣飲食、糖尿病逆轉

前言

在2024年的糖尿病照護期刊 (Diabetes Care)，揭櫫逆轉第二型糖尿病是糖尿病照護的新任務 (Type 2 diabetes remission: a new mission in diabetes care)¹。越早確診糖尿病，預計的生命損失年數越長²。因此，當我們在治療第二型糖尿病時，能夠注意延緩第二型糖尿病的發生、或逆轉糖尿病，或是簡單有效且易懂的飲食控制，才是從根本救治病人。

低醣飲食除了有助於糖尿病的逆轉，還可改善糖尿病血糖控制及代謝性指標、減少糖尿病用藥、及維護生活品質。

方法

本文以新近的低醣飲食隨機對照試驗的系統性回顧或統合分析為基礎，輔以本土性研究

及臨床實務，並針對油質攝取、死亡率、及安全性議題搜尋相關文獻，闡述由實驗室到臨床的應用。

討論

一、糖尿病的逆轉

早年，美國糖尿病學會等對糖尿病逆轉的定義為：沒有用藥一年，糖化血色素在6.5%以下為部分逆轉 (partial remission)，飯前血糖在100 mg/dl以下為完全逆轉 (complete remission)³。近年因為研究一致性，統一定義為：沒有藥物使用下三個月，糖化血色素值 $<6.5\%$ ¹。

在沒有特別介入下，糖尿病的逆轉很少發生，在英美的追蹤研究中，逆轉率約1.7%，但在新診斷1年內、身體質量指數 (body mass

index, BMI) 減少 10% 以上、糖化血色素較低者、未使用藥物者，逆轉率可提高 3-4 倍⁴。當然逆轉糖尿病有很多方法⁵，減重的各種方式（飲食、藥物或手術）都有機會，但低醣飲食同時兼具了簡便性、好理解，且飲食仍可以達飽足感等優點。

二、第二型糖尿病的生理機轉

第二型糖尿病是醣類代謝異常的疾病。三大營養素包含醣類、蛋白質、脂肪，而使血糖增高的主要影響來自醣類，因此淺顯易懂的道理，就是減少醣類攝取，以達到降低血糖的目標。

血糖和醣類的攝取量有關，攝取過多的醣類，除了升高血糖，也會轉成脂肪堆積在肝臟及胰臟，造成胰島素阻抗。因此，減少醣類攝取，減少胰島素分泌，除改善血糖，也促進脂肪酶將脂肪組織中的三酸甘油酯釋放出脂肪酸作為能量來源 (lipolysis and fatty acid oxidation)，減少肝臟及胰臟脂肪堆積，移動及代謝脂肪，並減少脂肪新生 (de novo lipogenesis)⁶，使體重減輕；並因減少糖毒性、減少氧化壓力及發炎，使胰臟功能正常化，有機會逆轉第 2 型糖尿病^{7,8}。

三、糖尿病飲食治療的變遷

糖尿病的飲食治療，早年也曾限制醣類，但後來因為胰島素發明，各國糖尿病學會大都以醣類佔每日總熱量攝取之 50-60% 為糖尿病飲

食的標準⁹，但這個醣類比例只是專家意見，符合一般人以醣類為主食的習慣，加以肥胖減重的降低總能量的需求及當時低膽固醇飲食的迷思，要求低油飲食。在低油飲食的倡導下，世界各國的糖尿病盛行率仍不斷爬升¹⁰，而低醣飲食則有越來越多的研究證據^{11,12}。根據最近第二型糖尿病的低醣飲食與低油飲食的隨機對照試驗之系統性回顧與統合分析研究¹¹，雖然低醣飲食因為低醣程度不同，醣類攝取越低、體重降低越多、短期血糖控制越好、但持久性比較困難。不過在糖尿病初始診斷時，若能快速減少醣類、減少胰臟負擔，並減少體重，低醣飲食仍不失為一個好選擇。而長期來說，維持可以執行的低醣飲食的醣類限制份數，並善用醣類代換原則，不僅可以達成良好血糖控制、減少藥物，也可以維持生活品質。

現在世界很多糖尿病學會¹³，已經開始接受低醣飲食是糖尿病飲食治療的方式之一，要以病人為中心，選擇適合的飲食治療。

飲食是一種信仰，只有願意相信、了解這個飲食的人，才有可能持之以恆的進行下去。

四、低醣飲食的定義與分類

一般以每日攝取醣類 <130 克（或總能量的 26% 以下）為低醣飲食、小於 50 克（或總能量的 10% 以下）為極低醣飲食 (Very low carbohydrate diet, VLCD) (表一)⁹。以一份 (serving) 醣類為 15 克計算，低醣飲食就是每日約八份醣或以下，而極低醣飲食就是每日約三

表一：低醣飲食分類

飲食名稱 (Diet name)	醣類量 (Carbohydrate amount)
高醣 (High carbohydrate)	≥ 45% 總熱量，≥ 225 克 / 天
中醣 (Moderate carbohydrate)	26-44% 總熱量，131-224 克 / 天
低醣 (Low carbohydrate)	10-25% 總熱量，51-130 克 / 天
極低醣 (Very low carbohydrate)	< 10% 總熱量，≤ 50 克 / 天
極低醣生酮飲食 (Very low carbohydrate ketogenic)	如上，但蛋白質通常限制 ≤ 20% 總熱量血中酮酸介於 0.5-5 mmol/L

(1) 計算是基於每日 2000 大卡總熱量

(2) 酮酸 (BOHB): β-hydroxybutyrate

份醣，以三餐分配可以是一餐一份醣；我們的
研究使用每日 90 克¹⁴，也就是 6 份醣，以三
餐分配就是一餐兩份醣；如要吃得比較輕鬆，
則早餐、午餐、晚餐分別是：兩份、三份、三
份醣，總共八份醣，也都符合低醣飲食。不管
是一天三餐，或是因為工作或生活型態的關
係，可能一天兩餐或四餐，除了平均分配醣類
份數，也依據勞力程度、或飲食方便性予以調
整。對於飲食習慣不容易、或高勞力活動者、
需要快速燃燒葡萄糖作為能量來源的運動員，
不適合達成上述低醣者，每日三餐可以減醣為
目標、或諮詢醫師及營養師。

五、低醣飲食的效果

在系統性回顧中，低醣飲食可以降低糖化
血色素、降低體重、減少腰圍、增加高密度脂
蛋白膽固醇 (high density lipoprotein cholesterol,
HDL-C)、降低三酸甘油酯、降低肝功能指標
值、降低空腹胰島素值及減少糖尿病用藥，血
總膽固醇增加¹¹，但是在其他研究顯示增加低
密度脂蛋白膽固醇的顆粒大小，減少小緻密性
低密度脂蛋白膽固醇 (small dense low density
lipoprotein cholesterol, sdLDL-C)，而減少致動脈
硬化性 (atherogenic)¹⁵。在本土為期 18 個月的研
究中¹⁴，以每日 90 克的低醣飲食，較符合國人
飲食的習慣，低醣組比傳統糖尿病飲食組（以
下簡稱傳統組）有較佳的血糖控制、減少糖尿
病用藥、降低體重、減少腰圍、臀圍及下降血
壓；不影響膽固醇、小緻密性低密度脂蛋白膽
固醇 (sdLDL-C)、尿蛋白、腎功能、肝功能及
頸動脈動脈硬化 (carotid atherosclerosis)。即使
18 個月研究結束後一年再追蹤¹⁶，沒有任何飲
食指導介入下，兩組血糖控制，雖然均比前一
年退步，但低醣組仍比傳統組能夠維持較佳的
糖化血色素、飯後血糖及減少糖尿病用藥，同
時在這群病人中還能見到肝功能的持續改善。
相較於日本每日 130 克低醣飲食¹⁷ 平均糖化血
色素下降約 0.8%，每日 90 克低醣飲食平均糖
化血色素下降約 1.6%¹⁴，小於 50 克的極低醣
飲食可下降 2.6%¹⁸。極低醣的生酮飲食，醣類

一般少於每日 20 到 30 克，改善糖化血色素及
降低體重只有短期有效（3 到 6 個月），很難持
久，因此巨集分析無法顯示對血糖控制有效。
但是對於降低三酸甘油酯及提升高密度脂蛋白
膽固醇有明顯的效果。應用上，診斷初期不
失為快速降低體重及血糖的方法¹⁹。生酮飲食
由於醣類的匱乏，增加脂肪酸的代謝而產生酮
體，稱為營養性酮體 (nutritional ketosis)，血中
酮體為 0.5-3 mg/dl，是糖尿病酮酸血症 (diabetic
ketoacidosis) 的 5-10 倍低，且營養性酮體血糖值
正常也沒有酸血症²⁰。以病人為中心，善用低
醣飲食程度與預期可降低糖化血色素的數值，
與血糖藥可降低的糖化血色素相輔相成²¹，可
作為血糖控制的飲食策略。

六、低醣飲食的中心思想

低醣飲食，因為飲食種類比例改變（低
醣、中蛋白質、高脂肪）及飲食順序改變：
先吃蔬菜、再吃蛋白質及脂肪、醣類最後吃
(carboplast)²²，蛋白質及脂肪多，易有飽足感，
再加上減少醣類攝取，總熱量攝取減少。研究
顯示：在沒有限制低醣飲食病人總熱量攝取下，
低醣組總熱量攝取和傳統組相當，因此也能夠
減重¹⁴。減重和造成血糖高的醣類減少雙重作
用，使得低醣飲食，更能有效控制血糖。而低
醣使得可供代謝產生能量的葡萄糖減少，身體
轉而使用脂肪酸代謝產生能量，能減少中央型
肥胖症 (central obesity)⁶。

高脂肪的部分，以多元不飽和
(polyunsaturated fatty acid, PUFA) 或單元不飽和
脂肪酸 (monounsaturated fatty acid, MUFA) 取代
飽和脂肪酸 (saturated fatty acid, SFA)²³，可降
低低密度脂蛋白膽固醇。醣類取代飽和脂肪酸
(SFA)，雖然也可降低低密度脂蛋白膽固醇 (low
density lipoprotein Cholesterol, LDL-C)，但會增
加三酸甘油酯及降低高密度膽固醇 (HDL)，因
此高油脂若以增加不飽和脂肪酸取代醣類，將
可降低血糖，且不會增加低密度脂蛋白膽固醇
(LDL-C)，並可降低三酸甘油酯及提升高密度脂
蛋白膽固醇 (HDL-C)。低醣飲食即使飽和脂肪

攝取倍增，也不會增加血漿飽和脂肪酸，是因為醣類的限制，使得胰島素分泌減少，促進脂肪酸代謝⁶。

多元不飽和脂肪包括次亞麻油酸 (omega-3, ω -3, α -linolenic acid, ALA)、亞麻油酸 (omega-6, ω -6, linoleic acid, LA)，都是人體無法製造的必需脂肪酸。Omega-3 主要存在於魚油、藻油、亞麻籽 (flax seed) 油、奇亞籽 (chia seed) 油、核桃 (walnut)、鮭魚、沙丁魚、鯖魚 (Mackerel)、鱈魚 (Herring)、鰵魚 (Anchovies)、牡蠣、大豆 (黃豆)，一般植物油以芥花油較高；Omega-6 主要存在於葵花油、玉米油、大豆油等^{24,25}。

Omega 3 次亞麻油酸 (α -linolenic Acid, ALA) 在體內代謝為長鏈脂肪酸二十碳五烯酸 (eicosapentaenoic acid, EPA, 20:5 ω -3) 及二十二碳六烯酸 (docosahexaenoic acid, DHA, 22:6 ω -3)，但轉化率不高 (<0.05%)²⁶，其中 EPA 主要有抗發炎及抗氧化作用。Omega 6 亞麻油酸 (linoleic acid, LA) 的體內代謝物為長鏈脂肪酸花生四烯酸 (arachidonic acid, AA, 20:4 ω -6)，而 AA 是許多前發炎及前凝集媒介 (pro-inflammatory/pro-aggregatory mediators) 的先驅物。 ω -3 脂肪酸及 ω -6 脂肪酸在體內競爭同樣的去飽和酵素 (desaturation enzyme)，所以當 ω -3 脂肪酸攝取不足或 ω -6 脂肪酸含量過多就會使身體呈現發炎狀態。

多元不飽和脂肪酸在高溫時容易氧化 (oxidation)，化學結構由順式 (*cis* form) 變成反式 (*trans* form)，而反式脂肪會增加體內 LDL 的濃度，甚至進一步導致冠心病的風險增加。研究顯示烹調方式當中，爆炒 (stir-frying) 比烘焙 (baking)、油煎 (pan-frying) 及油炸 (deep frying) 更容易產生反式脂肪²⁷。另外，食物油炸後的脂肪酸比例含量會變成和所使用的油一樣，且隨著油炸時間越長或相同時間內油炸次數增加，所釋出的反式脂肪量也隨之增加 (若油炸次數從半小時一次增加到三次，所釋出的反式脂肪量將由 2.5 倍到 3.5 倍)²⁸。另外，油炸食物中若食物本身多元不飽和脂肪酸含量較高，所產生的反式脂肪也會相對較多，當中多元不飽和脂肪酸的減少又以 ω 3 脂肪酸的減少較多。

此外，水分含量較多的食物 (如魚和雞的水分含量較馬鈴薯和豆子高)，相對在烹調過程中容易造成多元不飽和脂肪酸的水解，也會促成反式脂肪的形成。不過值得注意的是，根據我國食品安全衛生管理法，若食品中每百公克反式脂肪含量低於 0.3 公克，可標示為零。

現代食物因植物油大多含 ω -6 脂肪酸，且反式脂肪攝取增加、 ω -3 脂肪酸攝取減少、人工飼養的蛋肉魚等 ω -3 含量減少，造成 ω -6/ ω -3 的比例不平衡，在高血糖的患者 EPA/AA 比例可能約 1/16-18，但建議比例是 1/2²⁴。Omega-3 脂肪維持細胞壁彈性、改善肌肉細胞內粒線體的功能、抗發炎作用，經由減少 interleukin 1 β (IL-1 β), tumor necrosis factor α (TNF- α) 可減少胰島素阻抗^{24,25}。

七、低醣飲食的原則

對於初診斷為第 2 型糖尿病的病人，特別是肥胖者、高醣飲食者，低醣飲食的概念、醣類代換的份數應該要被教導，有機會逆轉第 2 型糖尿病。即使糖尿病很久的病人，低醣飲食的概念、醣類代換份數的調整或取代，病人可以自主選擇，決定要把醣類的份數保留給偏好的醣類。如此經常性控制在標準範圍內，即便偶爾因為生活慶典等稍有偏離，也不會影響太大。所以說人生雖有糖尿病的診斷，但不會因此變成黑白的，並非所有甜食、澱粉類都不能吃，也不會吃不飽，而是減少醣類的總份數，保留自己決定要攝取哪些醣類的權利，其他的食物則均衡吃，所以人生仍是彩色的。

低醣飲食簡單的說，就是三大營養素中的醣類、蛋白質及脂肪重新分配，低醣、中蛋白質、高脂肪，限制醣類的份數，了解醣類份數的代換。至於中蛋白質、高脂肪 (建議優先選擇不飽和脂肪)，仍需注意飲食均衡性，蛋白質部分可以以植物性蛋白質為主，其他動物性蛋白質為輔。我們將醣類限制到較少的份數，吃食物 (原型的食物) 而不要吃食品 (加工品)，講求醣類最後吃，先吃豆、魚、蛋、肉 (均衡吃，可以雙主菜)，最後才是主食醣類，屏除傳統的吃飯配菜，改為吃菜配飯。

八、低醣飲食實務

低醣飲食如果錯誤限制了膳食纖維的攝取，容易導致便秘。蔬菜類雖然含有少量的醣類，但其中醣類來源大多屬於膳食纖維，因此低醣飲食中並不予以計算。但大部分根莖類的食物，例如：山藥、芋頭、地瓜、馬鈴薯、南瓜、蓮藕皆屬於全穀雜糧類而非蔬菜類，以及經常被認為是健康食物的麥片、燕麥亦屬於全穀雜糧類，雖然比起精製澱粉類（例如：白飯、白麵條、白吐司），相對膳食纖維含量較高，但同時也是富含醣類的食物。

以全穀雜糧類而言，1/4 碗飯為一份醣類，等於半碗稀飯或半碗熟麵條、等於 3 張水餃皮或 7 張餛飩皮、等於 1 片薄片吐司（需額外加上 0.5 份的油脂）、等於 55 克芋頭（可食重）或 105 克南瓜（去皮）（圖一）、等於 1/3 個燒餅（需額外加上 0.5 份的油脂）或 2/3 條油條（需額外加上 4 份的油脂）。

以水果類而言，大約 1 個網球大小的水果為一份醣類，例如：1 個小蘋果或 1 顆橘子，或是八分滿到一平碗量的水果，或是半根香蕉皆屬於一份醣類（圖）。

1 杯牛奶（約 300 mL）也是一份醣類。但無糖豆漿 1000ml 約一份醣（依廠牌不同略有差異）。

要注意黃豆及其製品、毛豆、黑豆皆於蛋白質食物，但仍不能過量，內亦含有少量醣），而紅豆、綠豆者則是澱粉類食物（3 湯匙的紅豆或綠豆，即為一份醣類）。

葉菜類，及藻類、菇類、海帶皆屬於蔬菜類，可多吃。

堅果類以提供脂質營養素為主，但也含有少量醣類，其中開心果、核桃及花生醣類含量較低，而腰果醣類含量較高。

常見的點心類，如一般市售泡麵（110 克）、米糕，等於一碗飯四份醣類；四粒包餡甜湯圓、蛋餅、肉圓、小蛋黃酥、三明治一個約等於半碗飯兩份醣類；油條 1 根（約 45 克）相當於 1.3 份醣類、

燒餅 1 個（30 克）相當於 3 份醣類、一套

燒餅油條大約一碗飯四份醣類。食用前注意食品外包裝「營養標示」，有助於醣份含量的了解與估算。

九、低醣飲食的安全性

現有兩年期的臨床試驗無法顯示死亡率的差別，使用低醣飲食或傳統糖尿病飲食的隨機對照兩年以上的試驗，顯示對於肥胖者，不論是否有糖尿病，心血管疾病風險沒有差別²⁹。



圖一：一份醣類食物參考圖

在長達 30 年以上的世代追蹤研究，發現素蛋白質為主的低醣飲食 (vegetable LCD) 者降低 20% 全死因死亡率 (all cause mortality) 及 24% 心血管死亡率 (cardiovascular mortality)；葷蛋白質為主的低醣飲食 (animal LCD) 者增加 23% 全死因死亡率及 14% 心血管死亡率。較健康（減少精製澱粉）的素蛋白質為主的低醣飲食，可以減少心血管及癌症死亡率 (cancer mortality)³⁰。

在長達七年的低醣世代追蹤腎功能肌酸酐是改善的³¹，在巨集分析顯示低醣飲食對腎功能多項指標如腎絲球過濾率 (eGFR)、肌酸酐、微量白蛋白沒有影響³²，對於肌酸酐小於 2mg/dl 或慢性腎臟病第三級（含）以下的病人，在低醣飲食兩年的追蹤研究 eGFR 是改善的³³。過去對於慢性腎臟病蛋白質限制的研究主要都落於慢性腎臟病第四級的病人³⁴，在 10 年以上的世代追蹤研究對象為 55% 慢性腎臟病第三級（含）以上、33% 糖尿病的病人，熱量 20%-30% 來自蛋白質的低醣飲食者相較於 5% 者 (HR 0.58, 95% CI 0.37-0.91)、脂肪佔比 40-45% 者相較於 25% 者 (HR 0.79, 95% CI 0.66-0.93)，有較低的死亡率³⁵。統合分析不認為低醣飲食有安全上的顧慮⁷，高血糖經由高腎絲球過濾率、細胞內高血糖造成高糖化終產物 (advanced glycation end products, AGEs) 而造成細胞發炎及破壞。糖化血色素降低有利於避免糖尿病腎病變形成³¹，可以說低醣的好處大過其他成分的疑慮，低醣飲食注意中量蛋白質與增加好油，均衡飲食，初期密切追蹤，是利多於弊。

低醣飲食並未有對於骨骼健康與癌症風險影響的報告³⁶。極低醣飲食可能改變腸內微生物菌叢 (microbiome) 的多樣性 (diversity) 及增加 (proinflammatory bacteriae) 發炎前期細菌種³⁷。

十、低醣飲食的降血糖用藥調整

使用低醣飲食須預先調整的藥物，如：胰島素及硫醯尿素 (sulfonyleurea)，需降低 50%；排糖藥物 SGLT2 需停用，以防止血糖正常的酮酸中毒 (euglycemic diabetic ketoacidosis)³⁸。已使

用降血糖藥物者開始進行低醣飲食，宜 1-2 週就進行追蹤一次³⁸。

十一、低醣飲食不適用對象

肝腎功能嚴重異常、或胰臟發炎者。需要快速燃燒葡萄糖作為能量來源的運動員。

而極低醣生酮飲食的禁忌症多為小型研究，基於對易受傷害族群的安全性提醒，例如肝衰竭、嚴重腎功能異常、嚴重心臟衰竭、嚴重感染者、懷孕或哺乳者、手術、SGLT2 抑制劑使用者（可能產生正常血糖的糖尿病酮酸血症）。生酮飲食近期前瞻性研究提及增加心房顫動的風險，仍需進一步證實³⁹。

十二、低醣飲食結果的差異性與待解決的問題

低醣飲食如果增加飽和脂肪酸的攝取，增加低密度脂蛋白膽固醇，可能增加早發性心血管疾病的風險⁴⁰。控制低密度脂蛋白膽固醇可藉由不飽和脂肪酸取代飽和脂肪酸、增加植物性蛋白質攝取、增加蔬菜類攝取改善。

傳統糖尿病飲食，醣類比例為總能量之 55-60%。相較於傳統糖尿病飲食，有些研究將醣類為總能量之 40% 歸類為低醣飲食研究，並非低醣飲食定義的 26% 以下，這也可能造成低醣飲食研究結果不一致的原因之一。

低醣的程度影響效果與遵從性，適當的低醣比例，增進飲食遵從度、及飲食遵從度的評估³⁷。

長期且多面向的研究，如：涵蓋腸內微生物菌叢及發炎前期細菌種改變的影響等³⁷。

結論

低醣飲食定義為每日醣類小於 130 克，是第二型糖尿病逆轉及控制的有效飲食方式之一，不但可以降低糖化血色素、降低體重、減少腰圍、增加高密度脂蛋白膽固醇、降低三酸甘油酯、改善肝功能、還可以減少糖尿病用藥。善用低醣飲食，初期較嚴格的控制，長期較放寬標準，並了解醣類代換原則，在合理的份數下選擇偏好優質的醣類，人生仍是彩色

的。執行低醣飲食，中心思想為少醣，且醣類最後吃；豆、魚、蛋、肉、蔬菜、好油及堅果，均衡吃到飽；植物性（蛋豆類）要多於動物性蛋白質，各種非醣類食物均衡吃。以植物性蛋白質為主（尤其少精製澱粉）的低醣飲食，可以降低全死因死亡率、心血管死亡率及癌症死亡率。

致謝

感謝黃威勝醫師引進低醣飲食概念、日本低醣大師江部康二醫師指導、蔡兆勳主任及蔡甫昌教授鼓勵研究、李龍騰院長等多位家庭醫學部老師及病人的參與、戴東原院長的支持分享。

參考資料

1. Taheri S. Type 2 Diabetes Remission: A New Mission in Diabetes Care. *Diabetes Care* 2024;47(1):47-9.
2. Emerging Risk Factors Collaboration. Life expectancy associated with different ages at diagnosis of type 2 diabetes in high-income countries: 23 million person-years of observation. *Lancet Diabetes Endocrinol* 2023;11(10):731-42.
3. Brown A, McArdle P, Taplin J, et al. Dietary strategies for remission of type 2 diabetes: A narrative review. *J Hum Nutr Diet* 2022;35(1):165-78.
4. Holman N, Wild SH, Khunti K, et al. Incidence and Characteristics of Remission of Type 2 Diabetes in England: A Cohort Study Using the National Diabetes Audit. *Diabetes Care* 2022;45(5):1151-61.
5. Churuangasuk C, Hall J, Reynolds A, Griffin SJ, Combet E, Lean MEJ. Diets for weight management in adults with type 2 diabetes: an umbrella review of published meta-analyses and systematic review of trials of diets for diabetes remission. *Diabetologia* 2022;65(1):14-36.
6. Forsythe CE, Phinney SD, Feinman RD, et al. Limited effect of dietary saturated fat on plasma saturated fat in the context of a low carbohydrate diet. *Lipids* 2010;45(10):947-62.
7. Taylor R, Ramachandran A, Yancy WS Jr, Forouhi NG. Nutritional basis of type 2 diabetes remission. *BMJ* 2021;374:n1449.
8. Singla R, Gupta G, Dutta D, Raizada N, Aggarwal S. Diabetes reversal: Update on current knowledge and proposal of prediction score parameters for diabetes remission. *Diabetes Metab Syndr* 2022;16(4):102452.
9. Lennerz BS, Koutnik AP, Azova S, Wolfsdorf JI, Ludwig DS. Carbohydrate restriction for diabetes: rediscovering centuries-old wisdom. *J Clin Invest* 2021;131(1):e142246.
10. Tinajero MG, Malik VS. An Update on the Epidemiology of Type 2 Diabetes: A Global Perspective. *Endocrinol Metab Clin North Am* 2021;50(3):337-55.
11. Apekey TA, Maynard MJ, Kittana M, Kunutsor SK. Comparison of the Effectiveness of Low Carbohydrate Versus Low Fat Diets, in Type 2 Diabetes: Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Nutrients* 2022;14(20):4391.
12. Szczerba E, Barbaresco J, Schiemann T, Stahl-Pehe A, Schwingshackl L, Schlesinger S. Diet in the management of type 2 diabetes: umbrella review of systematic reviews with meta-analyses of randomised controlled trials. *BMJ Med* 2023;2(1):e000664.
13. Kelly T, Unwin D, Finucane F. Low-Carbohydrate Diets in the Management of Obesity and Type 2 Diabetes: A Review from Clinicians Using the Approach in Practice. *Int J Environ Res Public Health* 2020;17(7):2557.
14. Chen CY, Huang WS, Chen HC, et al. Effect of a 90 g/day low-carbohydrate diet on glycaemic control, small, dense low-density lipoprotein and carotid intima-media thickness in type 2 diabetic patients: An 18-month randomised controlled trial. *PLoS One* 2020;15(10):e0240158.
15. Falkenhain K, Roach LA, McCreary S, et al. Effect of carbohydrate-restricted dietary interventions on LDL particle size and number in adults in the context of weight loss or weight maintenance: a systematic review and meta-analysis. *Am J Clin Nutr* 2021;114(4):1455-66.
16. Chen CY, Huang WS, Ho MH, et al. The potential prolonged effect at one-year follow-up after 18-month randomized controlled trial of a 90 g/day low-carbohydrate diet in patients with type 2 diabetes. *Nutr Diabetes* 2022;12(1):17.
17. Sato J, Kanazawa A, Makita S, et al. A randomized controlled trial of 130 g/day low-carbohydrate diet in type 2 diabetes with poor glycemic control. *Clin Nutr* 2017;36(4):992-1000.
18. Tay J, Luscombe-Marsh ND, Thompson CH, et al. A very low-carbohydrate, low-saturated fat diet for type 2 diabetes management: a randomized trial. *Diabetes Care* 2014;37(11):2909-18.
19. Choy KYC, Louie JCY. The effects of the ketogenic diet for the management of type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis of recent studies. *Diabetes Metab Syndr* 2023;17(12):102905.
20. Gershuni VM, Yan SL, Medici V. Nutritional ketosis for weight management and reversal of metabolic syndrome. *Curr Nutr Rep* 2018;7(3):97-106.
21. Nathan DM, Buse JB, Davidson MB, et al. Medical management of hyperglycemia in type 2 diabetes: a consensus algorithm for the initiation and adjustment of therapy: a consensus statement of the American Diabetes Association and the European Association for the Study of Diabetes. *Diabetes Care* 2009;32(1):193-203.
22. Imai S, Fukui M, Kajiyama S. Effect of eating vegetables before carbohydrates on glucose excursions in patients with type 2 diabetes. *J Clin Biochem Nutr* 2014;54(1):7-11.
23. Sacks FM, Lichtenstein AH, Wu JHY, et al. Dietary Fats and Cardiovascular Disease: A Presidential Advisory From the American Heart Association. *Circulation* 2017;136(3):e1-23.
24. Egalini F, Guardamagna O, Gaggero G, et al. The Effects of Omega 3 and Omega 6 Fatty Acids on Glucose Metabolism:

- An Updated Review. *Nutrients* 2023;15(12):2672.
25. Sinha S, Haque M, Lugova H, Kumar S. The Effect of Omega-3 Fatty Acids on Insulin Resistance. *Life (Basel)* 2023;13(6):1322.
 26. Pawlosky RJ, Hibbeln JR, Novotny JA, Salem N Jr. Physiological compartmental -linolenic acid metabolism in adult humans. *J Lipid Res* 2001;42(8):1257-65.
 27. Song J, Park J, Jung J, et al. Analysis of Trans Fat in Edible Oils with Cooking Process. *Toxicol Res* 2015;31(3):307-12.
 28. Ramroudi F, Yasini Ardakani SA, Dehghani-Tafti A, Khalili Sadrabad E. Investigation of the Physicochemical Properties of Vegetable Oils Blended with Sesame Oil and Their Oxidative Stability during Frying. *Int J Food Sci* 2022;2022:3165512.
 29. Naude CE, Brand A, Schoonees A, Nguyen KA, Chaplin M, Volmink J. Low-carbohydrate versus balanced-carbohydrate diets for reducing weight and cardiovascular risk. *Cochrane Database Syst Rev* 2022;1(1):CD013334.
 30. Hu Y, Liu G, Yu E, et al. Low-Carbohydrate Diet Scores and Mortality Among Adults With Incident Type 2 Diabetes. *Diabetes Care* 2023;46(4):1-11
 31. Unwin D, Unwin J, Crocombe D, Delon C, Guess N, Wong C. Renal function in patients following a low carbohydrate diet for type 2 diabetes: a review of the literature and analysis of routine clinical data from a primary care service over 7 years. *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes* 2021;28(5):469-79.
 32. Suyoto PST. Effect of low-carbohydrate diet on markers of renal function in patients with type 2 diabetes: A meta-analysis. *Diabetes Metab Res Rev* 2018;34(7):e3032.
 33. Tirosh A, Golan R, Harman-Boehm I, et al. Renal function following three distinct weight loss dietary strategies during 2 years of a randomized controlled trial. *Diabetes Care* 2013;36(8):2225-32.
 34. Meloni C, Morosetti M, Suraci C, et al. Severe dietary protein restriction in overt diabetic nephropathy: benefits or risks? *J Ren Nutr* 2002;12(2):96-101.
 35. Ren Q, Zhou Y, Luo H, et al. Associations of low-carbohydrate with mortality in chronic kidney disease. *Ren Fail* 2023;45(1):2202284.
 36. Volek JS, Yancy WS Jr, Gower BA, et al. Expert consensus on nutrition and lower-carbohydrate diets: An evidence- and equity-based approach to dietary guidance. *Front Nutr* 2024;11:1376098.
 37. Landry MJ, Crimarco A, Gardner CD. Benefits of Low Carbohydrate Diets: a Settled Question or Still Controversial? *Curr Obes Rep* 2021;10(3):409-22.
 38. Cucuzzella M, Riley K, Isaacs D. Adapting Medication for Type 2 Diabetes to a Low Carbohydrate Diet. *Front Nutr* 2021;8:688540.
 39. Watanabe M, Tuccinardi D, Ernesti I, et al. Scientific evidence underlying contraindications to the ketogenic diet: An update. *Obes Rev* 2020 ;21(10):e13053.
 40. Yu E, Malik VS, Hu FB. Cardiovascular disease prevention by diet modification: JACC health promotion series. *J Am Coll Cardiol* 2018;72(8):914-26.

Low Carbohydrate Diet in Type 2 Diabetes Patients: from Bench to Bedside

Chin-Ying Chen, Ming-Hua Ho, Hui-Chuen Chen

*Department of Family Medicine, Department of Dietetics
National Taiwan University Hospital and National Taiwan University*

This article introduces the basic diet for reversing and controlling type 2 diabetes. It is different from the traditional diabetic diet. This can also be regarded as a weight loss diet. Patients can achieve good blood sugar and weight control by understanding the calculation of carbohydrate servings and adjusting the proportion of macronutrients. Life is still colorful because there are choices, not only rules. This article starts with the pathophysiology of insulin resistance and explains the principle of a low-carbohydrate diet: "Low carbohydrate, medium protein, high fat, and carbolast." It encourages patients to learn carbohydrate substitution and good oil selection through practice. At the same time, principles of hypoglycemic drug adjustment and safety concern are discussed. Finally, the domestic low carbohydrate clinical trial reveals the effectiveness of low-carbohydrate diets and the potentially prolonged effects. We hope that more people will understand and make good use of low-carbohydrate diets.