



特色專題

活到老，動到老

Active Grandparenting, Costly Repair

生物人類學家解釋運動如何以及為什麼可以對抗衰老



塞爾日·布洛赫(Serge Bloch)繪

2020年9月-10月

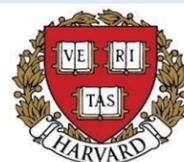
此文摘自丹尼爾·李伯曼(Daniel E. Lieberman)所著的 *EXERCISED: Why Something We Never Evolved to Do Is Healthy and Rewarding* 一書，該書將於2020年9月8日由萬神殿圖書(Pantheon Books)出版，萬神殿圖書為企鵝蘭登書屋(Penguin Random House)責任有限公司旗下的 Knopf Doubleday 出版社的一個分支機構

版權所有 ©2020 Daniel E. Lieberman

編者筆記：不論你愛不愛運動，運動對保持健康來說仍然很重要，《哈佛雜誌》探索了從運動在流行病學上的影響，和運動在基礎生物學上如何影響人體線粒體數量，也探索了運動所帶來強大的抗發炎作用。《哈佛雜誌》還收錄了幾篇文章是關於Edwin M. Lerner(生物科學教授)和丹尼爾·李伯曼(Daniel E. Lieberman)的研究，李伯曼從進化和人類學的角度解開了一個矛盾的事實：人類適應跑步（〈從頭到腳〉2011年1月-2月，第25頁），但進化卻讓我們更傾向於保存能量，而非消耗能量（〈生來就是要休息〉2016年9月-10月，第9頁）。這篇專題摘錄並改編自李伯曼的新書 *Exercised: Why Something We Never Evolved to Do Is Healthy and Rewarding* 的第10章，他結合了各種的證據來解釋人體在運動時會發生什麼變化，以及為什麼運動對健康有益。

每個人都想長命百歲，但沒有人想變老，所以幾個世紀以來，人們都一直在尋找延緩老化和延遲死亡到來的方法。不久之前，江湖郎中可能還會試圖誘騙你買他們的菸草、汞，或是狗睪丸粉來吃，好讓你延年益壽；而如今，這些小販們換成賣生長激素、褪黑激素、睪丸激素、大劑量的維他命或鹼性食物來吸引你買。然而，經過了這幾千年的時間，最明智的延壽方法，是絕對少不了運動的，這個論點幾乎所有人都知道，也有無數的研究能證實：定期的運動可以延緩老化的過程，且有助於延長壽命。我也不信會有任何人看到希波克拉底在2500年前的書中所寫：「單單飲食不能使人健康，還必須搭配運動」時會感到驚訝。

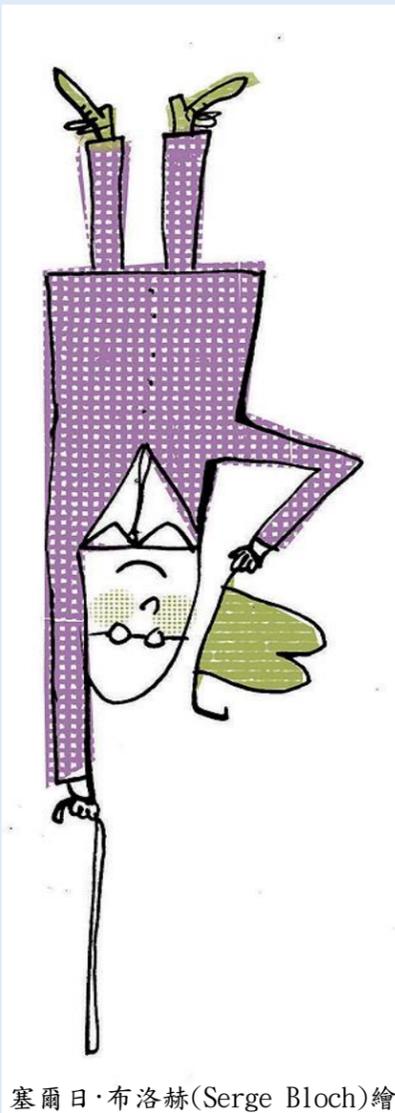
大量的證據都顯示青春之泉是靠流汗來帶動的，而這些汗水，也必須在我們年老後繼續流淌。



關於運動如何影響老化，最可敬的長期研究之一就是德州達拉斯市的庫珀中心縱向研究，該研究在1970年由發明「有氧運動」一詞的肯尼斯·庫珀博士(Dr. Kenneth Cooper)發起，這項研究其中的一項分析追蹤了35歲以上1萬多名男性和3000名女性，來測試那些有運動習慣且身材適當的人是否能活得更久、更健康，測試結果顯示，他們大部分的確都更長壽，運動較頻繁的女性的死亡率約為身材不健康女性的三分之一，而身材較健康的男性的死亡率比不健康的男性低約三分之一至四分之一。

此外，與那些不運動、身材也不健康的人相比，那些最初身材不健康但開始運動並改善身材的人，他們的死亡率降低了一半。因為健康的定義不僅僅是活著，庫珀中心的研究人員在過去的幾十年間還追蹤了18000多名健康的中年人，看誰患有糖尿病和阿茲海默症等慢性疾病，在女性和男性中，身材較適當的人當中患有慢性病的機率，大約是其他人的一半，就算他們患病，也是在年紀更長的時候才患病。這些研究和其他相關研究證實了這句話：「人不會因為變老而放棄玩樂；他們是因為停止玩樂才變老。」

我可以理解為什麼許多人對我剛才引用的統計數據不理會或持懷疑態度，因為每個人都知道有年輕時就不幸死亡的運動員和那些久坐不動卻活很久的人，此外，那些避免不必要體力活的人只是在跟隨人類進化的傾向罷了，特別是當我們年齡越長的時候。最後，即使說「運動就是最好的藥」，運動又是如何以及為什麼會影響身體的老化呢？這些問題我們不應該只參考西方人的研究，要用進化人類學的觀點來找到答案，想要解答這些問題要先解決另一個自古以來的一個問題，那就是為什麼我們會變老，正如進化人類學的觀點，人類變老的過程是獨一無二的。



塞爾日·布洛赫(Serge Bloch)繪

幾萬年過後的老年人

我對祖父母的許多記憶都是在餵飽我和弟弟，我認為第一名是我的外婆，她最拿手的是早餐，週末吃的第一頓飯就是多道菜的盛宴，通常是先吃半個葡萄柚，然後是熱麥片，再來是起司乳酪備果佐熏鮭；而我奶奶的廚藝雖然還沒到出師的境界，但她每次來訪都會準備她招牌性的無糖燕麥餅乾；我的祖父也參與了這場比賽，每個星期天早上，我的外公會開車到布魯克林繞繞，並在一家熟食店買最好的熏鮭魚，另一家買白鮭魚，還有另一家買貝果；而我的爺爺總是帶給我們一個巨大的義大利臘腸和一罐荷蘭可可粉。

現在看來，我的祖父母是以他們自己布魯克林特色的方式，做千百萬年來人類祖父母也在做的事情：餵養他們的孫子，這種行為在其他物種身上是看不到的，這種獨特的行為與我們超乎尋常的壽命有著密切的關係，我們通常會在我們無法生育下一

代後繼續存活很長一段時間，而要像我們人類一樣長的後繁殖壽命在動物界中是罕見的。

舉例來說，黑猩猩很少能活過 50 歲，50 歲對雌性黑猩猩來說剛過更年期，而對雄性黑猩猩來說剛過能繁殖後代的時期，從進化的角度來看，在失去生產能力和繁殖後代的能力後不久就翹辮子是合理的。在這一階段，生物體即進入生物學家彼得·梅達瓦(Peter Medawar)所稱的「物競天擇的陰影(*shadow of natural selection*)」，理論上，一旦個體陷入這個令人畏懼的陰影，牠在生物學和進化上就已經該被淘汰了，這是因為物競天擇不應與老化這個自然的過程作鬥爭。

值得慶幸的是，人類社會的老年人只有在生物學上是該淘汰的對象。要了解我們人類非凡的繁殖策略是如何從物競天擇的冷酷陰影中拯救我們，我們只要想想，母猿猴一次只能撫養一個後代而且沒能得到太多的幫助。再以黑猩猩媽媽為例，他們最快每五到六年才能分娩一次，這是因為他們每天只能覓食足夠滿足自己的和一個飢餓的黑猩猩小孩的熱量需求的食物。

直到她的小孩大到可以完全斷奶和自己覓食時，她才可以儲存足夠的卡路里來再次準備繁殖。相比之下，人類狩獵採集者通常讓小孩三歲斷奶，並早在他們的小孩子能夠覓食或照料自己之前就再次懷孕了，更不用說讓小孩自己遠離危險。例如，一個典型的狩獵採集媽媽可能同時有一個六個月大的嬰兒、一個四歲和八歲的小孩，由於她通常每天只能收集熱量約 2000 卡路里的食物，因此她無法獲得足夠的熱量來滿足自己基本的卡路里需求（超過 2,000 卡路里）以及她幾個小孩的食物需求，而這些小孩的年齡也都不夠大，沒有能力自己覓食，她需要他人的幫助。

在幫助她的那群人中包含了中年人與老年人，人類學家指出，從澳大利亞到南美洲的採集群體中的祖父母、姑姑、叔叔和其他老年人在他們的一生中從年輕到變老，身體一直都是保持活躍的，他們每天收集和獵取的食物卡路里比他們消耗的還多，而這些多的熱量會提供給年輕一代。多的食物有助於為他們的孩子、孫子、侄女和侄子提供足夠的熱量，並幫助減輕孩子母親的工作量。年長的狩獵採集者也會在不能生育之後的二三十年間將他們的知識、智慧和技能傳授給下一代。與人們普遍認為的狩獵採集者壽命較短的認知相反，事實上，在嬰兒時期的前幾年存活下來的採集者大部分都活到 68 歲至 78 歲。這與美國現在 76 至 81 歲的預期壽命相差不遠。

有證據顯示，狩獵採集者在停止生育後的幾十年裡仍會保持身體活躍，這個證據是幫助我們瞭解人類老化本質的基礎。我們人類獨特的代際合作和食物共享的體系，讓我們得以延後了梅達瓦所說的殘酷「陰影」的到來，中年和老年狩獵採集者不再是該被淘汰的對象，而是通過提供小孩和孫子食物、照料他們、處理食材、傳授知識與技能以及其他方式來幫助年輕一代，進而證明他們養育下一代的成功。

一旦這種新穎的合作策略(狩獵和採集生活方式的精髓)在石器時代出現，物競天擇的機制下就多了長壽這個選項。根據這一理論，那些勤勞、樂於助人並擁有長壽基因的祖父母能夠有更多的子孫後代，所以他們得以將這

些好基因遺傳下來，隨著時間的推移，人類自然地被篩選，讓更多人成為更慷慨、更樂於助人也更長壽的祖父母。這一觀點的其中一個版本被稱為「祖母假說」(*Grandmother Hypothesis*)，以表明祖母在人類物種中扮演著特別重要的角色。

為了闡明運動與老化之間的關聯，我提出了一個對於祖母假說的推論，我稱之為「活躍的祖父母假說」(*Active Grandparent Hypothesis*)。根據這個概念，人類的長壽不僅是被篩選出來的，人類能這麼長壽的功臣還包括他們在老年期間所付出的努力，幫助盡可能多的子女、孫子和其他年幼的親屬生存和成長茁壯。也就是說，雖然大自然篩選出那些讓人類活過五十歲的基因，但也同時保留了那些讓人類在身體活躍時修復並維持健康的基因，因此人體內許多延緩老化和延長壽命的機制都是通過身體活動來啟動的，特別是在我們年紀更大的時候，人類的健康和長壽藉由多動來延長，人類也是為了要能繼續動才保持健康和活得更久。

有另一種表述活躍的祖父母假說的方式，那就是說，人類壽命的進化並不是為了讓老年人到佛羅里達州過退休生活，坐在游泳池旁，或做在高爾夫球車裡四處遊蕩。相反的，石器時代的老年生活充滿著大量的走路、挖掘、搬東西和其他的體力活。在物競天擇的機制下，大自然比較喜歡那些多動的老年人，因為他們的身體能啟動修復身體和保持健康的機制，以應付身體活動造成的壓力。而且因為石器時代的中老年人從來就沒有機會退休並享受人生，導致沒有其他東西比身體活動產生的壓力還要有效開啟這些機制，因此，人類的進化讓我們在中老年時費力地留下額頭上的汗水，就是為了活得更有用也更有幫助。

現在讓我們到坦尚尼亞北部去拜訪 Hadza 部落，地球上僅剩不多的狩獵採集部落之一，來一睹石器時代的山上過去的生活風貌。天剛亮，Hadza 部落的祖母就開始她一天的工作了，添柴火、幫忙餵食和照顧孫子，幾個小時後，她和營地的其他婦女一同進入樹叢中，他們用吊帶背著未滿兩歲的嬰兒，身邊跟著幾個六七歲大的孩子，有時還會有一名武裝的成年男性或幾個十幾歲的男孩來提供保護，要找到一個好的挖掘地點有時需要一個小時的長途跋涉才能找到，

地下根和塊莖是 Hadza 部落主要的食物來源，一旦他們找到可能有地下根或塊莖的藤蔓，她們就會停下來挖掘，她們主要的工具是一根用來挖掘的硬木棒，大約跟藤條一樣粗，木棒末端被磨尖並以火燒使其硬化，挖掘地下的根莖是一項很費力的工作，因為許多塊莖都藏在岩石下幾英尺深的地方，所以必須先把那些岩石撬出來，但是這些婦女們會一邊工作一邊聊天，直到下午中旬；而在中午時，通常每個人都會休息一下吃個午飯，在繼續工作。和大多數 Hadza 菜一樣，這些挖掘到的塊根莖會被扔到火堆中烤幾分鐘，然後在原地就能馬上食用。吃完午飯後，他們又開始了更多的挖掘工作，直到最後他們用繩索把那些還沒吃完的塊根莖裝在一起，一起回家。

所有的 Hadza 部落的女人都會挖掘塊根莖，但是祖母們能比孩子的母親挖得更多，有部分是因為她們不需要給孩子餵奶或花太多時間照顧孩子，根據猶他大學教授克莉絲汀·霍克斯(Kristen Hawkes)和同事們的估測，一個典型的 Hadza 媽媽一天大約要花 4 個小時採集食物，而祖母們每天要花 5 到 6 個小時，有時候，Hadza 部落的媽媽會花更多時間在採漿果上面，花比較少的時間挖掘塊根莖，而祖母每天都去挖塊根莖和採漿果；祖父繼續打獵、收集蜂蜜和猴面包果，在大多時候他們還是會像年輕人一樣遠行。根據人類學家弗蘭克·馬洛(Frank Marlowe)的說法：「老年人是在 Hadza 部落最有可能從高大的猴面包樹上摔下來而死的人，因為他們直到老年都一直在努力地摘蜂蜜。」

現在有多少上了年紀的美國人一天會花數小時覓食，更不用說徒步爬樹和獵殺動物了，不過，我們可以以美國人和 Hadza 人走路的距離來做比較，一項針對數千人的研究發現，美國 21 世紀 18 歲至 40 歲的女性平均每天步行 5756 步（約 2-3 英里），但這個數據隨著年齡的增長而急劇下降，到 70 多歲時，美國女性的步行量大約只剩原來的一半；美國人 70 多歲時的活動量只有她們 40 多歲時的一半，而 Hadza 婦女每天的步行量是美國人的足足兩倍，她們每天的步行量只有隨著年齡增長而略有下降而已。

除此之外，南加州大學的大衛·賴希倫(David Raichlen)和他的同事們利用心率監測器來進行研究，Hadza 的老年婦女實際上比部落內仍有孩子需照顧的年輕婦女花更多的時間從事中度到劇烈的活動，試著想像一下，如果美國的老年婦女每天都不得不步行 5 英里去給他們的子孫買東西，而且不是把食物從貨架上拿下來而已，而是得花好幾個小時挖掘撲滿堅硬岩石的土壤，才能得到麥片、凍豌豆和水果卷。

想也知道，這些大量的工作量能讓老年狩獵採集者保持健康，要衡量與年齡相關的健康狀況，最可靠的衡量標準之一就是步行速度，步行速度與預期壽命有很大的關係。50 歲以下的美國女性平均步行速度約為每秒 3 英尺（0.92 米/秒），但到了 60 多歲時，速度明顯減慢到每秒 2 英尺（0.67 米/秒）；至於 Hadza 部落的女性，由於她們保持活躍的生活方式且從來就沒有退休過，她們的步行速度並沒有隨著年齡增長而有特別明顯的下降，她們 70 多歲時的步行平均速度仍保持在每秒 3.6 英尺（1.1 米/秒）。在努力地試圖跟上 Hadza 部落中年長奶奶的步伐後，我可以向你保證，即使天氣酷熱，她們也能保持同樣速度的步伐。Hadza 部落內年長的男性走路也很迅速，有許多對於狩獵採集部落的研究能證明，他們比一般後工業時代的西方人更有力氣，身體也更健康，而且他們失去體力和健康的速度也比西方人的速度還慢，Hadza 部落內年長的男性在進入老年後仍保持相當旺盛的活力，在狩獵採集的部落中，從來就不會有肌肉衰弱的問題。

活躍的祖父母假說提出了一個經典的先有雞還是先有蛋的問題，人類所做的那些辛苦的體力活會對他們在延長壽命上有多大的幫助？人類的長壽是人類活動量大的結果呢？還是為了讓人類保持活躍的一種適應？此外，當我們狩獵採集的祖先不能夠再狩獵或採集時，他們是如何應對不可避免的「物競天擇的陰影」呢？現在的我們，

有養老院、退休金和政府資助的醫療保健系統來照顧老年人，但狩獵採集部落和我們的祖先可沒有這些福利，儘管上了年紀的狩獵採集者受到了部落內極大的尊重，但他們無法走很遠的路、不能挖塊根莖或採蜂蜜，也不能幫忙提東西回家，在食物有限的情況下，這些老年人很有可能會成為負擔，因此，如果人類是經過物競天擇後，才能夠在無生育能力後還能活好幾十年，那麼人類很有可能不應當是在那幾十年都處於長期無法活動的狀態。從達爾文的觀點來看，最好的策略是活得長久又活躍，然後在你身體無法再活躍時快速死去。然而，有另一個更好的策略，那就是首先要避免身體隨著年齡的增長而衰弱。

衰老的本質

有時候當我照鏡子時，我認不出來那個髮際線後移還盯著我的白髮傢伙是誰。但值得慶幸的是，我的身體還沒有跟我的外表一樣老，人會老(aging)是不可避免的，而衰老(senescence)是與年齡增長有關的身體功能惡化，衰老與年齡的相關性較低，因為衰老還有大部分是受到飲食、運動或輻射等環境因素所影響，所以衰老是可以減緩或預防的，甚至是稍微逆轉。

人會老是無可避免的，但衰老是與年齡增長有關的身體功能惡化，衰老受到環境因素的強烈影響，因此可以減緩或部分逆轉。

以機械學的方式來說，我們開始老化的過程很繁雜也很討厭，讓我們身體的機械損耗的來源就是讓我們存活的化學反應，我們呼吸的氧氣在細胞中產生能量，但留下了不穩定的氧分子，這些活性氧（通常也稱為自由基）從其他分子中竊取電子，從而「氧化」它們。

就像氧化會讓金屬生鏽或讓蘋果果肉變成棕色一樣，氧化還會破壞 DNA、破壞動脈壁、使酶失去活性並破壞蛋白質，從而破壞整個身體的細胞。但矛盾的是，我們消耗的氧氣越多，我們產生的活性氧就越多，因此從理論上來講，消耗大量氧氣的劇烈運動應該會加速衰老才對。

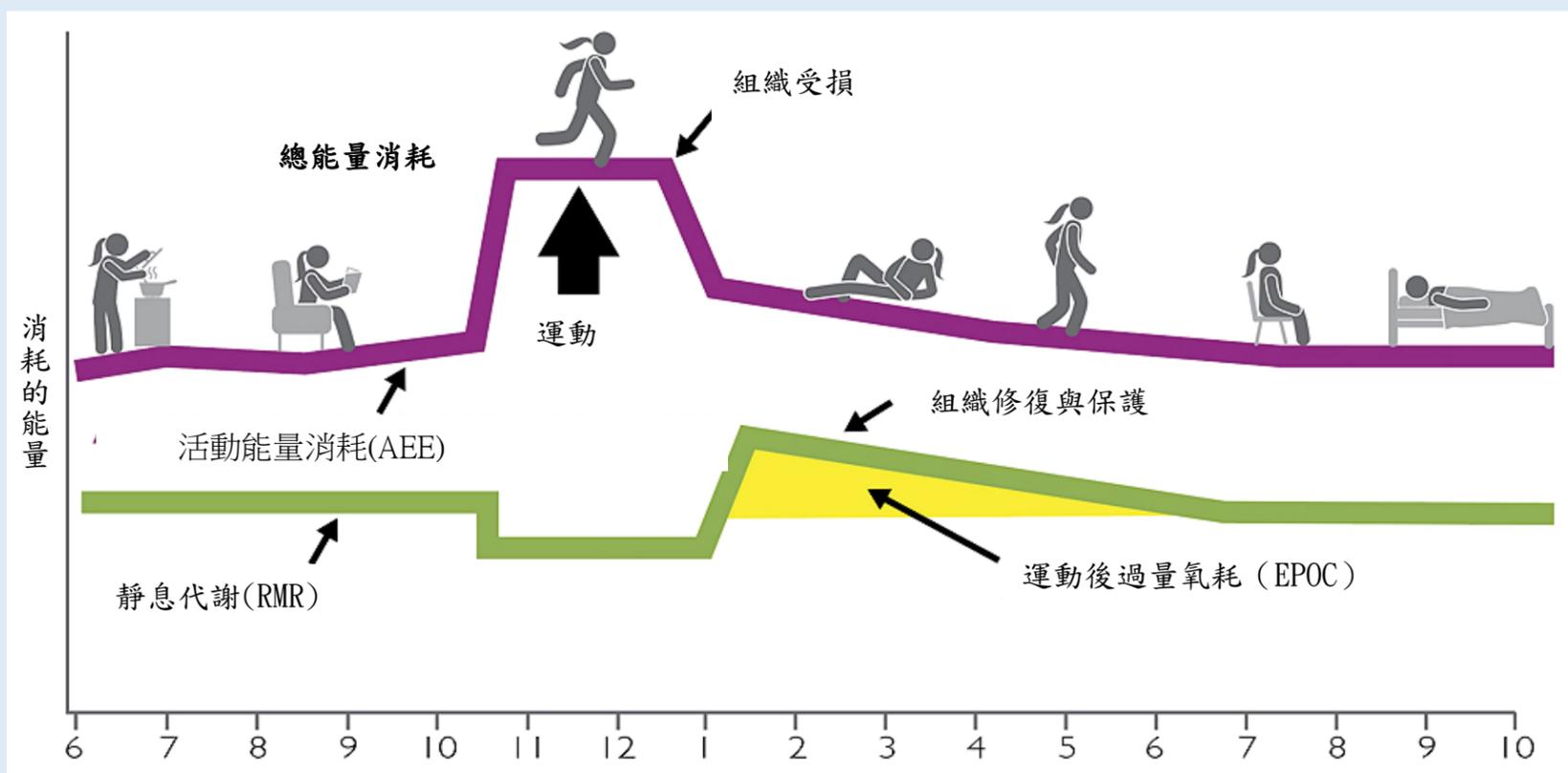
衰老的一個相關因素是線粒體功能障礙，線粒體是細胞中的微小發電廠，它們利用氧氣燃燒燃料以產生能量（ATP），產生活性氧，造成自我傷害，當線粒體停止正常運作或數量減少時，會導致衰老和疾病。

另一個人體為了保持存活狀態和消耗能量而引起的身體自我破壞反應是糖化，更準確地說是糖基化，當糖和蛋白質在熱的作用下發生反應時，我們體內會產生糖化的作用，糖基化可以讓我們在烤麵包和烤肉等食物使其具有產生深色、香氣迷人、可口的外表，但是，讓餅乾更好吃的東西絕對不會對你的腎臟好，這些反應會破壞身體的組織並產生化合物（糖化終產物，AGEs），這種化合物會使人體的血管硬化，皮膚增加皺紋，使我們的眼睛中的水晶體變硬，堵塞腎臟等，這些和其他類型的損害隨後會導致發炎。

在正常情況下，免疫系統會讓人體產生發炎反應，從而保護我們，抵抗病原體以及由運動引起的自體傷害，在短暫的時間內，發炎可以挽救性命；但若是持續數月或數年的輕度發炎對我們人體是有害的，因為它會緩慢地攻擊我們的身體，隨著時間流逝，蓄勢待發的慢性發炎的破壞作用累積在我們從頭到腳四處的細胞和組織中，包括腦中的神經元、關節軟骨、動脈壁，以及肌肉和脂肪細胞中的胰島素受體。

如果氧化、線粒體功能障礙、突變、糖基化和發炎還不夠，那麼還有許多其他方式也會透過破壞和分解細胞來加速衰老的過程。隨著時間的流逝，微小分子將自身黏在細胞裡的DNA上，這些所謂的表觀遺傳修飾（在染色體組上面）可以影響哪些基因在特定細胞中的表現方式。

由於飲食、壓力和運動等環境因素在一定程度上影響表觀遺傳修飾，因此我們年紀越大，累積的表觀遺傳修飾就越多，大多數表觀遺傳修飾都是無害的，但是在特定年齡段內擁有的表觀遺傳修飾越多，死亡的風險就越高。其他形式的衰老包括細胞失去回收受損蛋白質的能力、細胞不適當地攝取營養，以及（可能性較低）細胞無法分裂，因為染色體末端的小帽（端粒）太短了。



我們運動時人體會怎麼運作？

該圖將總能量消耗（TEE）分為兩部分：活動能量消耗和靜息代謝。即使在運動停止後，靜息代謝仍會持續升高數小時，從而在運動後過量氧耗（EPOC）的階段燃燒更多的卡路里。

這些老化機制應該會讓你感到警惕，這些機制會慢慢對人體造成破壞，斑塊在血管中積聚、導致血管硬化和阻塞、細胞上的受體堵塞、肌肉失去力量、雜質聚集在神經元和其他重要細胞周圍、腦細胞死亡、體膜破裂、骨頭萎縮並產生裂縫、肌腱和韌帶磨損、我們的免疫系統抵抗感染的能力下降，除非我們修復體內這些損壞和許多其他形式的損壞，不然我們的身體會像里程數過多的老車一樣崩壞。

但是還是有希望的，老化(aging)和衰老(senescence)沒有這麼密不可分，因為這些大部分的破壞性過程可以在不同程度上預防或減緩，而且那些已造成的破壞是可以修補的。例如，抗氧化劑可以阻止氧化，抗氧化劑是能與活性氧物質反應的化合物，因此使活性氧無害，食物中含有一些抗氧化劑，例如維生素 C 和 E，但我們的身體會大量合成許多其他抗氧化劑。

同樣的，線粒體可以再生，某些糖基化產物可以通過酶來修復，酶能清除或分解這些化合物，白血球和肌肉產生的抗炎蛋白可以消除發炎，端粒可以被拉長，DNA 可以修補，而且細胞可以修復或修補身體的數十種功能。的確，幾乎所有組織中的所有老化原因（除了一些明顯的例外，像是眼睛的水晶體變硬）都可以通過不同的機制來抵消、修補或預防。

人體的多種抗老化機制引起了一個令人猜不透的難題：我們已經看到了以前人類是因為大自然的選擇而使他們的壽命比大多數動物長，那為什麼沒有更多的人類更早也更常使用這些抗老化機制來減緩衰老並讓還有活動力的祖父母更健康呢？

進化生物學家世世代代都在思考這個問題，但我就直說了，迄今為止最好的解答，就是隨著我們年齡的增長，物競天擇的機制就變得越來越弱，因為疾病、天敵、惡劣的天氣和其他殘酷的自然因素，老年人口即不可避免地變少，因此，物競天擇對延長壽命和促進修復的老年人基因的作用較小。即使中老年人幫助了年輕一代，從而推遲了梅達瓦的天擇陰影，但年紀越大，物競天擇就越不會與多年累積下來身體的磨損抵抗，不管喜歡與否，天擇陰影最終都會來，但值得慶幸的是，通過運動，就可以減緩它的到來並降低衰老的嚴重程度。

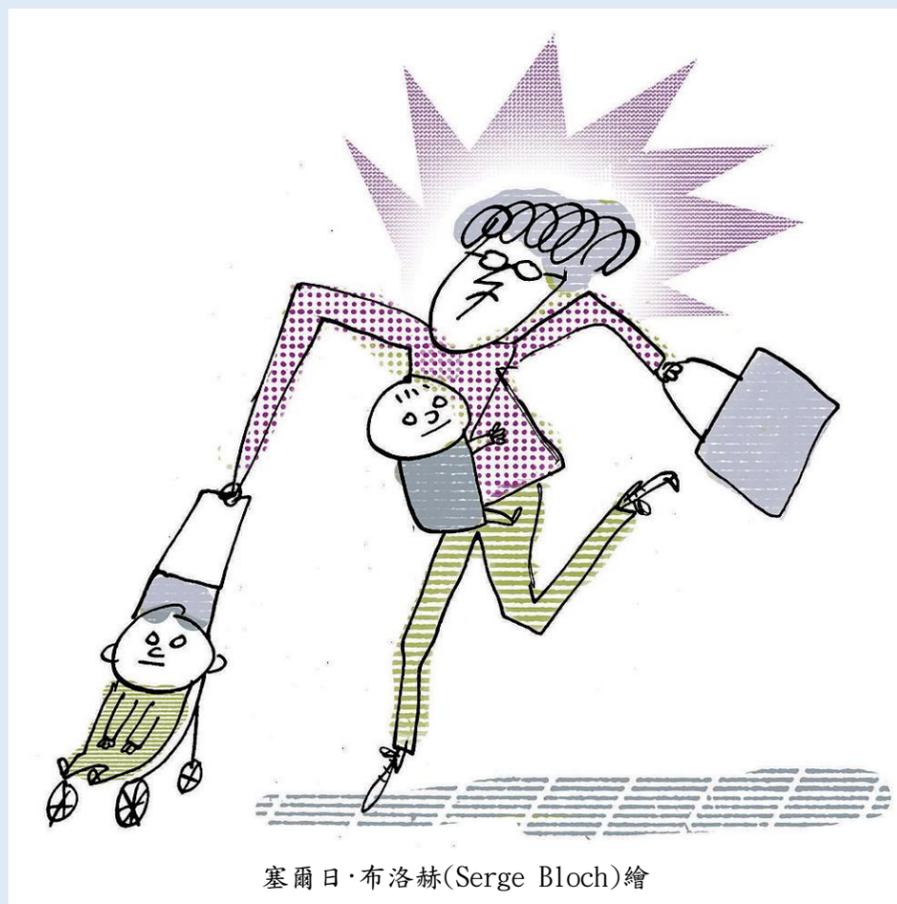
代價高的修復假說

德州達拉斯市的一個生理學家小組決定進行一個實驗以比較久坐與運動對健康的影響，方法是讓五個健康的 20 歲年輕人臥床休息三週，然後接著進行為期八週的密集運動計劃，臥床會對他們帶來破壞性的影響，當最終允許他們從床上躺下時，這些志願者的身體在許多方面都像是 40 幾歲的人：他們更胖、血壓和膽固醇更高、肌肉質量更低、體能也更差。

然而，接下來八週的密集運動不僅讓他們恢復了健康狀況，而且甚至是讓其中幾個人的健康狀態比實驗以前更佳。對於首席研究員本格特·薩爾廷(Bengt Saltin)來說，這個實驗要告訴我們的很簡單明瞭：「人類生來就是要動的。」然而，隨著時間的流逝，為了評估老化如何影響不運動的後果，這些研究人員提出了一個聰明的想法，那就是在 30 年後重新研究這五名志願者的狀況。

三十年的典型美式生活方式對這五位志願者可不友善：他們每個人體重增加了約 50 磅，血壓更高，心臟更弱，在許多方面都不太健康。但是他們同意再次接受實驗，因為他們想要透過這個計畫來消除 30 年沒運動所造成的後果，這個計畫包含為期六個月的步行、騎自行車和慢跑。

幸運的是，這個第二次的老年運動計畫，成功幫助這些志願者減輕了約 10 磅的體重，而且最令人驚訝的是，他們在很大程度上停緩了他們心血管健康狀況的下降。經過六個月的中等強度運動，志願者的平均血壓、靜息心率和心輸出量恢復到他們 20 歲的水平，許多其他研究也證實了運動對身體的抗老化功效，但很少有人解釋原因。



運動為甚麼能夠讓身體衰落的速度變慢？運動為甚麼有時候甚至能讓原本逐漸衰弱的身體變得更健康？最常見的解釋是運動可以防止或改善造成加速衰老的壞東西，這些壞東西的第一名就是脂肪，運動可以延緩甚至可以消除多餘脂肪的積累，尤其是腹部脂肪，多餘脂肪是引起發炎和其他健康問題的主要原因。運動還可以降低血糖、脂肪和不健康膽固醇，這些東西會緩慢地讓動脈硬化、破壞蛋白質，讓你的身體變得更糟。

正如前面提到的達拉斯臥床實驗等研究所顯示的那樣，運動還可以改善心血管功能、降低壓力荷爾蒙、加速新陳代謝、增強骨骼等。然而，這些運動所產生有益健康的效果僅說明了運動是怎麼對抗衰老的，但並沒有解釋運動為什麼能對抗衰老。要了解為什麼運動能激活人體內十幾個保養和修復的功能，促使身體修復隨著年齡增長而累積的損害，我們需要探索我所稱的「代價高的修復假說(Costly Repair Hypothesis)」。

為了介紹這個假說的概念，讓我以我妻子在某個星期六去了健身房運動後發生的事情來當例子，那天的前幾個小時，我的妻子只做了少量的體力活動，然後在上午 10:00 時她去健身房做了 45 分鐘的有氧運動，然後進行了 45 分鐘的重訓練，結束後，她不僅很累，而且身體還有點痠痛。

重點是，我妻子運動不僅耗掉了很多卡路里，而且還讓她產生生理上的壓力，在努力完成有氧運動和重訓運動的過程中，她體內「戰鬥和逃跑」的系統釋放了皮質醇、腎上腺素和其他與壓力有關的激素，從而加快了心臟跳動速度，並使體內的能量儲備流動了起來，當她的肌肉迅速消耗卡路里，也同時抽出了破壞她細胞功能的廢棄化合物，而線粒體排出了大量有害的活性氧，這些活性氧會破壞身體的 DNA 和其他分子，更糟的是，她在努力做負重訓練時，她的肌肉也飽受折磨，總而言之，這次的運動除了給我的妻子帶來不適之外，還造成了一些短期傷害。

如果運動如此有害，為什麼運動還會健康呢？一種解釋是，一旦她停止運動，我妻子的身體就會做出反應，修復她對身體所造成的任何傷害，而重要的是，她的身體也會同時修復她在以前不運動時所積累的一些傷害，因此，她的身體能將許多組織恢復到先前的狀態。

為了應對運動造成的組織損傷，她的身體一開始會產生發炎反應，隨後會產生抗炎反應來應對發炎，還會產生豐富且強大的抗氧化劑，以清除線粒體釋放出的活性氧，然後她的身體還會激發許多其他機能，用來清除細胞中的廢物，修復 DNA 突變、受損的蛋白質和表觀遺傳修飾，以及修補骨頭中的裂縫，替換線粒體和添加線粒體等。

運動就像不小心打翻湯用髒了廚房地板，你刷地板刷得太用心，讓整個地板變得比打翻湯前更乾淨。運動引起的適度壓力會觸發身體的修復反應，從而產生總體受益。

運動可以恢復體內大多數結構（生物學家稱之為體內平衡），但在某些情況下，它可以通過讓身體變得比以前更好（身體調適）來創造穩定性。例如，高強度的體育鍛煉可以增強骨骼和肌肉的力量，增強細胞從血液中攝取葡萄糖的能力，並增強和替代肌肉中的線粒體，此外，修復機制有時會超過運動引起的損害，從而帶來淨收益，這就像不小心打翻湯用髒了地板，你刷地板刷得太用心，讓整個地板變得比打翻湯前更乾淨。總而言之，運動引起的適度壓力會觸發身體的修復反應，從而產生總體受益，這種現象有時被稱為毒物興奮效應 (*hormesis*)。

如果你有商業頭腦，又討厭運動，你可能會想到一個好點子：為什麼不找到一種更簡單、更讓人喜歡的方式，來啟動人體內相同的修復機制，而不用經歷運動帶來的麻煩和不適？為什麼不吃顆藥丸就解決呢？不費吹灰之

力，我就可以購買維生素C、維生素E和β-胡蘿蔔素來提高體內的抗氧化劑，並購買含有薑黃、omega-3 脂肪酸和多酚的膠囊來對抗發炎。

這個想法的問題是，數十項研究發現，服用抗氧化藥不能代替運動來對抗衰老，三到四項研究顯示服用抗氧化藥有些許的益處，但其餘研究不是認為抗氧化劑沒有提供益處，就是甚至還會增加死亡的風險，更糟的是，其他研究顯示，若服用抗氧化劑又運動，可能反而是弊大於利。在蘇黎世，研究老化和新陳代謝的邁克爾·里斯托（Michael Ristow）在2009年進行了一項開創性的實驗，而實驗結果令人大跌眼鏡，他的團隊要求40名體態不同的健康年輕男性接受為期4週的運動管控。

一半的參與者服用了大劑量的維生素C和E，另一半則服用了安慰劑，在運動前和運動後進行的肌肉組織切片檢驗，正如預期的那樣，運動會引起大量的氧化應激反應，但服用抗氧化劑的那些人有更多的氧化損傷，因為他們身體自己產生的抗氧化劑更低，抗氧化劑丸明顯抑制了人體正常的抗應激反應，而這可能是因為運動所造成的氧化損傷本身就是觸發人體抗氧化防禦機制的關鍵，才能有效保持健康。

為什麼規律運動是延緩衰老和追求長壽的不二法則？

回想一下，根據「代價高的修復假說」，能量供應受限的生物都必須分配體內有限的卡路里用於繁殖、移動或照顧自己的身體，但是大自然的物競天擇機制最終只會關心繁殖，因此，冷酷的大自然比較希望我們在代價高的身體修復上花費盡可能少的能量。雖然運動會觸發破壞和恢復的循環，但大自然會偏愛那些能量分配適當的人，分配適當能量來產生抗氧化劑、增加和修復肌肉、修補骨骼等。所以我們要面臨的挑戰是要在對的地點和對的時間，充分保養和修復體育造成的任何傷害。

生命的進化對於這個問題的解決方案是根據需求來配對能力，在這種情況下，需求是由運動引起的壓力，特別是活性氧物質和其他破壞性機制，像是破壞動脈壁、使基因突變和破壞細胞，能力是指透過修復來穩定體內環境的能力，讓我們可以充分且有效地執行生存和繁殖所需的那些功能。而且，重要的是，運動激活的保養和修復機制不會因為年齡增長而停止起作用，儘管有些人的機制反應較緩慢，但仍會持續運作，幫助保持身體活躍的中老年人延緩衰老。

就像我們人類從未進化能適應節食或時差一樣，我們也從未進化能夠不運動就能對抗身體的衰老，唯有運動，才能充分激活我們人體的修復反應。

不幸的是，這個非凡的系統有一個很大的缺陷，顯然地，我們從未進化在沒有規律運動時還能有效地開啟體內的保養和修復機制，如我們所見，在石器時代時幾乎沒有人(尤其是祖父母)能避免數小時的步行、奔跑、挖

掘、攀爬和其他勞動，狩獵採集部落中的男女老少幾乎每天都會刺激他們身體的自然修復機制，以應對他們生活方式中的需求。因此，就像我們人類從未進化到能適應節食或時差一樣，我們也從未進化到能夠不運動就能對抗身體的老化，唯有運動，才能充分激活我們人體的修復反應。

Active Grandparenting, Costly Repair
Harvard Magazine. SEPTEMBER-OCTOBER 2020

