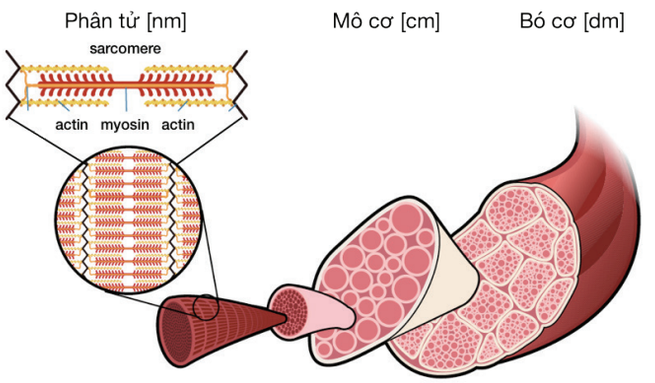
CƠ BẮP NHÂN TẠO: Khi vật liệu vượt qua sự tiến hóa của tự nhiên

Nguyễn Tuấn Hưng[1], Vương Văn Thanh[2]
[1]Viện Khoa học liên ngành (FRIS), Đại học Tohoku
[2]Viện Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

Cơ bắp của động vật có vú đã cho chúng ta thấy sự kỳ diệu của tiến hóa. Các bó cơ giúp bơm máu đi khắp cơ thể để duy trì sự sống và cung cấp hàng tỷ chu trình làm việc với một biến dạng co thắt hơn 20% và một ứng suất khoảng 0,35 MPa. Chúng cũng có thể chuyển hóa năng lượng sinh học thành năng lượng cơ học với hiệu suất lên đến 40% - tương đương với hiệu suất chuyển hóa năng lượng của một động cơ xe hơi. Các kết quả nghiên cứu về vật liệu gần đây cho thấy, cơ bắp nhân tạo (hay "truyền động điện hóa") có thể sớm vượt qua sự tiến hóa của cơ bắp tự nhiên, với công suất có thể gấp hàng trăm lần so với công suất của cơ bắp động vật.

Cơ bắp sinh học

Để có thể bắt đầu với cơ bắp nhân tạo, chúng ta cùng tìm hiểu sơ lược về cơ chế hoạt động của cơ bắp sinh học, qua đó giúp định hướng việc thiết kế các cơ bắp nhân tạo mô phỏng cơ bắp sinh học một cách hiệu quả. Cơ bắp sinh học là một tổ hợp của các bó cơ, trong đó các bó cơ bao gồm các sợi cơ, mỗi sợi cơ có đường kính 20-200 μm với thành phần cấu tạo chủ yếu là các protein [1]. Các protein này được tổ chức trong một đơn vị cấu trúc gọi là sarcomere (thường dài khoảng 2 μm) với hàng trăm phân tử myosin và actin đan xen nhau. Một cụm các myosin và actin đan xen nhau như vậy có thể coi là một cỗ máy truyền động ở kích thước nm. Cỗ máy này sẽ hoạt động thông qua hai bước: i) Hệ thần kinh sẽ điều khiển để giải phóng các ion canxi Ca^{2+} vào trong các actin. Do đó, các actin này sẽ liên kết với các đầu của myosion trong một sarcomere; ii) Quá trình thuỷ phân của phân tử ATP (adenosine triphosphate) sẽ giải phóng năng lượng hoá học cỡ khoảng 7 kcal/mol. Các myosin sẽ chuyển hoá năng lượng này thành năng lượng cơ học để dịch chuyển các actin trượt trên nó. Khi chu trình trên kết thúc, các myosin sẽ tách ra khỏi các actin, sau đó được gắn lại vào vị trí liền kề. Quá trình được lặp đi lặp lại sẽ dẫn đến các actin tiếp tục trượt trên các myosion. Hiện tượng này được gọi là co cơ (hình 1).



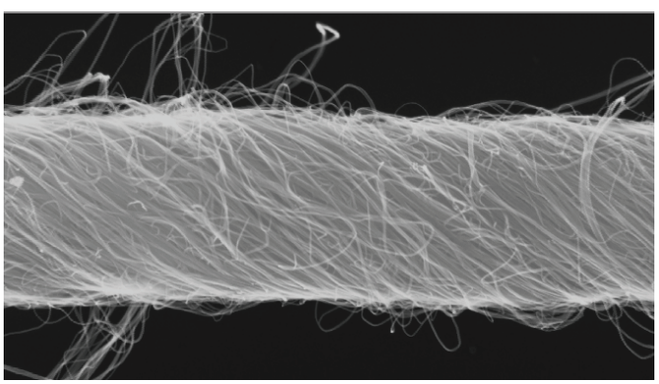
Hình 1. Cấu tạo của cơ bắp sinh học từ quy mô dm (bó cơ) tới nm (phân tử sarcomere) - một phân tử bao gồm hàng trăm phân tử actin và myosin đan xen nhau.

Điều thú vị ở đây là các sợi cơ này có khả năng co thắt trên 20% và tự phục hồi giúp cung cấp hàng tỷ chu kỳ làm việc. Một cơ bắp sinh học cũng có hiệu suất chuyển hóa năng lượng lên đến gần 40% [2]. Mặc dù cơ bắp sinh học hoạt động như một bộ truyền động nhưng chúng không giống như các thiết bị máy móc hiện nay, trong đó mô tơ hoặc bơm thuỷ lực là các bộ phận truyền động chủ yếu. Khi công nghệ phát triển, các máy móc đòi hỏi phải giảm kích thước xuống cỡ nano (kích thước nhỏ hơn sợi tóc vài nghìn lần). Các thiết bị truyền động truyền thống sẽ không thể giảm xuống được ở kích thước như vậy. Để vượt qua vấn đề này, một cơ chế truyền động mới được gọi là "cơ bắp nhân tạo" đã thu hút sự chú

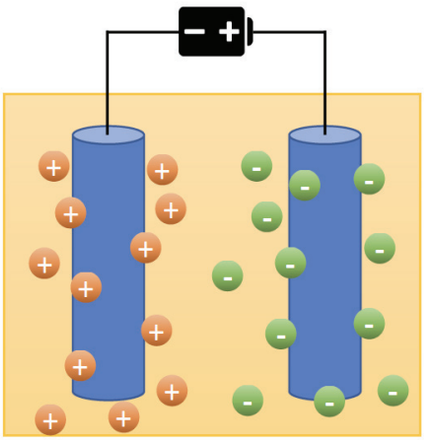
ý của các nhà khoa học, trong đó các vật liệu có khả năng tự biến dạng dưới ảnh hưởng của điện trường hoặc hoá học giống như cơ bắp sinh học.

Cơ bắp nhân tạo

Baughman - Giám đốc Viện NanoTech của Đại học Texas (Mỹ) là một trong những nhà khoa học tiên phong trong lĩnh vực cơ bắp nhân tạo. Năm 1999, Baughman và cộng sự đã công bố một nghiên cứu trên Tạp chí Science với tiêu đề "Bộ truyền động ống nano các bon" [1]. Công bố này có hơn hai ngàn lượt trích dẫn (theo dữ liệu của Scopus). Trong nghiên cứu của mình, Baughman và cộng sự đã lần đầu tiên giới thiệu một bộ truyền động đơn giản dựa trên vật liệu nano các bon. Ống nano các bon là vật liệu có dạng trụ rỗng với đường kính từ 0,4 cho đến vài chục nm, có độ bền lớn hơn thép nhiều lần nhưng trọng lượng nhẹ đến mức có thể trôi nổi trong không khí. Do đó, một động cơ truyền động sử dụng ống nano các bon sẽ là một bộ truyền động nhỏ nhất thế giới. Vật liệu truyền động được chế tạo bằng cách xoắn các ống nano các bon lại với nhau thành một sợi nano các bon với đường kính vài trăm nm như ở hình 2. Sau đó một bộ truyền động được thiết kế như trong sơ đồ ở hình 3, nó bao gồm vật liệu truyền động, một chất điện phân (gồm các ion dương và âm), một nguồn điện như pin lithium. Khi hai sợi nano các bon được nối với pin và nhúng trong một chất điện phân, các ion dương sẽ đi về phía cực âm và ngược lại các ion âm đi về phía cực dương. Các sợi nano các bon sẽ bị co thắt bởi các ion dương và giãn nở đối với các ion âm. Quá trình co và nở này sẽ dẫn đến một công cơ học. Do đó, sự chuyển hoá từ năng lượng hoá học thành năng lượng cơ học của sợi nano các bon là giống như cơ chế của cơ bắp sinh học được giới thiệu ở phần trên. Một vật liệu truyền động điện hóa như vậy được gọi là vật liệu cơ bắp nhân tạo.



Hình 2. Một sợi nano các bon (nguồn: EarthSky).

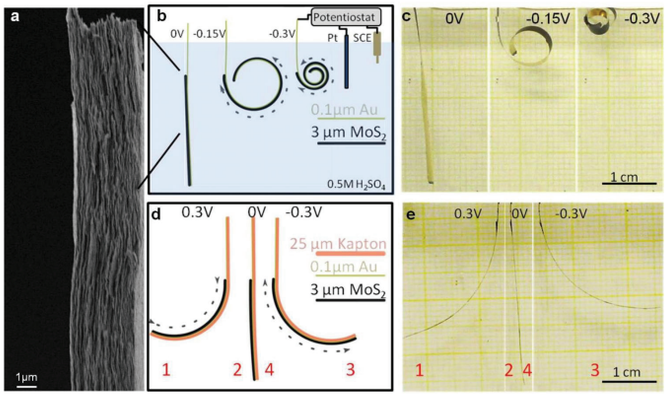


Hình 3. Mô hình của một thiết bị truyền động điện hoá dựa trên sợi nano các bon (minh hoạ bởi các hình trụ), sợi nano các bon sẽ bị co thắt bởi các ion dương và giãn nở bởi các ion âm.

Sự phát triển của vật liệu cho cơ bắp nhân tạo

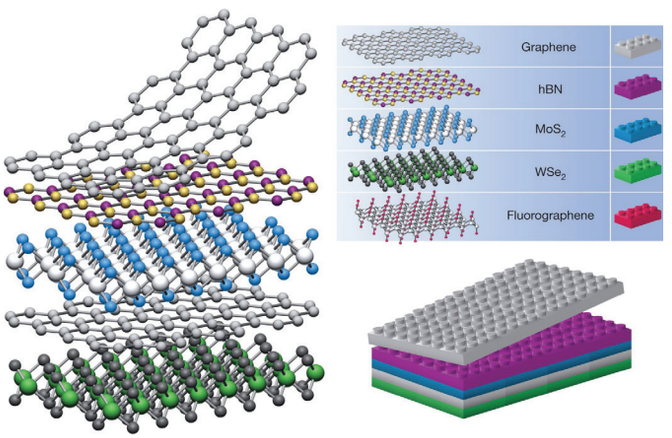
Mặc dù thực nghiệm về cơ bắp nhân tạo sử dụng ống nano các bon đã được thực hiện từ 3 thập kỷ trước nhưng gần đây các nghiên cứu lý thuyết mới được tiến hành. Nhóm nghiên cứu của chúng tôi tại Đại học Tohoku (Nhật Bản) đã chỉ ra rằng, các bó ống nano các bon có thể tạo ra một công cơ học cực lớn [2]. Trong trường hợp bó ống nano các bon là lý tưởng, công suất của nó có thể gấp hàng trăm lần so với công suất của cơ bắp động vật. Công cơ học lớn, độ bền vật liệu cao, hoạt động ở một điện áp nhỏ là những ưu điểm nổi trội của vật liệu ống nano các bon, tuy nhiên nhược điểm là biến dạng của chúng (khoảng 1%) nhỏ hơn nhiều so với biến dạng của cơ bắp sinh học (khoảng 20%). Hơn thế nữa, ống nano các bon khi sản xuất ở quy mô công nghiệp giá thành còn cao, dẫn đến hạn chế trong việc ứng dụng trong lĩnh vực cơ bắp nhân tạo.

Trước những hạn chế của ống nano các bon, các nhà khoa học đã chuyển hướng sang nghiên cứu vật liệu hai chiều cho cơ bắp nhân tạo dựa trên phát hiện ra vật liệu graphene vào năm 2014 bởi Andre Geim và Kostya Novoselov (2 nhà khoa học được trao giải Nobel vật lý năm 2010). Graphene là vật liệu mỏng nhất trong tự nhiên với độ dày của một lớp nguyên tử (0,34 nm), nhưng có tính chất cơ học tương đương với ống nano các bon. Lợi thế của vật liệu hai chiều là có diện tích bề mặt lớn nên dễ dàng hấp thụ ion dương hoặc âm trên bề mặt, đồng thời có khả năng biến dạng tốt hơn so với ống nano các bon. Tuy nhiên, nhược điểm của chúng vẫn là giá thành cao so với quy mô ứng dụng công nghiệp.



Hình 4. Vật liệu hai chiều MoS_2 với độ dày vài μm (a) và thiết bị truyền động dựa trên vật liệu hai chiều MoS_2 dưới một điện áp thấp từ -0,3 tới 0,3 V (b-e) [3].

Trong một loạt các vật liệu hai chiều khác, molybdenum disulfide (MoS_2) là vật liệu có giá thành rẻ hơn nhiều so với graphene, dễ dàng chế tạo và có tính chất điện hoá tốt. Trong một nghiên cứu công bố trên Tạp chí Nature, nhóm nghiên cứu của Chhowalla (Đại học Rutgers, Mỹ) cho thấy, cơ bắp nhân tạo dựa trên MoS_2 có thể nâng được một vật nặng lớn hơn trọng lượng của nó 165 lần [3]. Họ đã thành công trong việc giảm kích thước của thiết bị truyền động này xuống quy mô nano, trong đó trọng lượng của thiết bị là 1,6 miligram (tương đương trọng lượng vài hạt ớt) có thể nâng được một vật nặng 265 miligram (hình 4). Các nghiên cứu lý thuyết được thực hiện ngay sau đó của chúng tôi [4, 5] cho thấy, MoS_2 bao gồm một họ vật liệu có cấu trúc tương tự nhau như $MoSe_2$, $MoTe_2$, WS_2, WSe_2 và WTe_2. Bằng việc khảo sát khả năng truyền động của các vật liệu nêu trên, chúng tôi nhận thấy vật liệu WTe_2 và WS_2 tốt hơn MoS_2. Phát hiện này là tiền đề giúp các nhà thực nghiệm thiết kế các hệ thống truyền động tốt hơn.



Hình 5. Các vật liệu hai chiều khác nhau có thể xếp chồng lên nhau như các mảnh ghép Lego [6].

Hiện có hơn 200 vật liệu hai chiều có thành phần hoá học khác nhau đã được khám phá, hơn thế nữa cùng một thành phần hoá học nhưng với cấu trúc khác nhau, tính chất truyền động của chúng cũng khác nhau. Bên cạnh đó, vật liệu hai chiều có thể xếp chồng lên nhau bởi lực tương tác van der Waals [6]. Bằng cách này, 2 vật liệu hai chiều khác nhau khi xếp chồng lên nhau sẽ hình thành một vật liệu hoàn toàn mới như ở hình 5. Như vậy, số lượng vật liệu hai chiều là rất lớn bởi tổ hợp của hơn 200 vật liệu xếp chồng lên nhau. Với số lượng vật liệu hai chiều lớn cùng với sự hỗ trợ của các thuật toán trí tuệ nhân tạo (AI), chúng ta có thể sớm tìm được những vật liệu tốt hơn so với các vật liệu hai chiều hiện có. Từ các dữ liệu đầu vào, các thuật toán AI sẽ dự báo các vật liệu mới tiềm năng cho cơ bắp nhân tạo, sau đó các nhà thực nghiệm sẽ đo đạc trên vật liệu mới để xác nhận lại kết quả từ AI. Trong tương lai, chúng ta cần các nhà khoa học đa ngành (tính toán lý thuyết, khoa học dữ liệu và thực nghiệm) để đồng thời tìm ra vật liệu cơ bắp nhân tạo mới với hiệu suất cao hơn và có giá thành rẻ hơn ✍

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] R.H. Baughman, et al. (1999), "Carbon nanotube actuators", *Science*, **284**, pp.1340-1344.

[2] N.T. Hung, A.R. Nugraha, R. Saito (2017), "Charge-induced electrochemical actuation of armchair carbon nanotube bundles", *Carbon*, **118**, pp.278-284.

[3] M. Acerce, E.K. Akdoğan, M. Chhowalla (2019), "Metallic molybdenum disulfide nanosheet-based electrochemical actuators", *Nature*, **549**, pp.370-373.

[4] N.T. Hung, A.R. Nugraha, R. Saito (2018), "Two-dimensional MoS_2 electromechanical actuators", *Journal of Physics D: Applied Physics*, **51(7)**, pp.075306.

[5] V. Van Thanh, N.T. Hung, D.V. Truong (2018), "Charge-induced electromechanical actuation of Mo-and W-dichalcogenide monolayers", *RSC Advances*, **8(67)**, pp.38667-38672.

[6] A.K. Geim, I.V. Grigorieva (2013), "Van der Waals heterostructutes", *Nature*, **499**, pp.419-425.