

## Tổng quan

# TẠI SAO CÓ NGƯỜI DỄ DUY TRÌ TẬP LUYỆN HƠN NGƯỜI KHÁC? VAI TRÒ CỦA YẾU TỐ DI TRUYỀN VÀ ỨNG DỤNG TRONG CHĂM SÓC SỨC KHỎE

Nguyễn Ảnh Sang<sup>1</sup>, Trần Quốc Doanh<sup>1\*</sup>

1. Bệnh viện Quân y 175, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

\* Tác giả liên hệ: Trần Quốc Doanh ✉ [drtranquocdoanh@gmail.com](mailto:drtranquocdoanh@gmail.com)

**TÓM TẮT:** Hành vi hoạt động thể chất có sự khác biệt đáng kể giữa các cá nhân, không thể được giải thích hoàn toàn bởi các yếu tố môi trường. Ngày càng có nhiều bằng chứng cho thấy yếu tố di truyền đóng vai trò quan trọng trong việc ảnh hưởng khuynh hướng tham gia và duy trì hoạt động thể chất. Nghiên cứu này nhằm tổng hợp các bằng chứng về vai trò của di truyền trong hành vi hoạt động thể chất. Các nghiên cứu được tìm kiếm trên PubMed trong giai đoạn 2000–2025, tập trung vào các nghiên cứu trên người đánh giá mối liên quan giữa yếu tố di truyền và hành vi hoạt động thể chất. Các nghiên cứu xác định nhiều vị trí di truyền liên quan đến mức độ hoạt động thể chất và khuynh hướng hành vi. Hệ thống thần kinh, đặc biệt là trục dopaminergic, được xem là cơ chế trung tâm, cùng với các yếu tố tâm lý trung gian và tương tác giữa gen và môi trường. Hành vi tập luyện chịu ảnh hưởng đa yếu tố, trong đó di truyền đóng vai trò đáng kể nhưng không mang tính quyết định. Cách tiếp cận cá thể hóa dựa trên đặc điểm sinh học và hành vi có tiềm năng nâng cao hiệu quả can thiệp vận động.

**Từ khóa:** hoạt động thể chất; hành vi tập luyện; di truyền học; hệ dopaminergic; cá thể hóa

## WHY DO SOME INDIVIDUALS MAINTAIN EXERCISE MORE EASILY THAN OTHERS? THE ROLE OF GENETIC FACTORS AND APPLICATIONS IN HEALTHCARE

Nguyen Anh Sang, Tran Quoc Doanh

**ABSTRACT:** Physical activity behavior varies substantially among individuals and cannot be fully explained by environmental factors alone. Increasing evidence suggests that genetic factors play an important role in shaping individuals' propensity to engage in and maintain exercise. This review aims to synthesize current evidence regarding the role of genetic factors in physical activity behavior. Relevant studies were identified through structured searches of PubMed database from 2000 to 2025, focusing on human studies investigating the association between genetic factors and physical activity behavior. Multiple genetic loci associated with physical activity levels and behavioral tendencies have been identified. Neural mechanisms, particularly the dopaminergic system, appear to play a central role, alongside psychological mediators and gene–environment interactions. Exercise behavior is a multifactorial trait in which genetic factors contribute significantly but are not deterministic. Personalized approaches based on biological and behavioral characteristics hold promise for improving the effectiveness of physical activity interventions.

**Keywords:** physical activity; exercise behavior; genetics; dopaminergic system; personalization

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hoạt động thể chất đóng vai trò trung tâm trong duy trì sức khỏe và phòng ngừa bệnh mạn tính, tuy nhiên, khả năng tham gia và duy trì tập luyện giữa các cá nhân lại có sự khác biệt đáng kể, ngay cả trong những điều kiện môi trường tương đồng. Thực tế lâm sàng cho thấy một số cá nhân dễ dàng hình thành và duy trì thói quen vận động lâu dài, trong khi những người khác gặp khó khăn trong việc bắt đầu hoặc nhanh chóng từ bỏ, mặc dù có nhận thức đầy đủ về lợi ích của tập luyện. Sự khác biệt này không thể được giải thích hoàn toàn bởi các yếu tố môi trường hay xã hội, đặt ra giả thuyết về vai trò của các yếu tố sinh học nền tảng trong điều hòa hành vi hoạt động thể chất, đặc biệt là di truyền.

Các bằng chứng nghiên cứu từ các cặp song sinh và gia đình đã chỉ ra rằng hành vi tập luyện có thành phần di truyền đáng kể, với hệ số di truyền dao động trong khoảng 20–60% tùy theo quần thể và phương pháp đo lường [1],[2],[3],[4]. Đáng chú ý, mức độ tương đồng cao hơn về hành vi hoạt động thể chất ở các cặp song sinh cùng trứng so với khác trứng củng cố giả thuyết rằng di truyền không chỉ ảnh hưởng đến khả năng thể chất mà còn định hình khuynh hướng hành vi liên quan đến vận động [4],[5]. Các nghiên cứu cũng cho thấy ảnh hưởng di truyền đối với hành vi tập luyện có tính ổn định theo thời gian và có thể gia tăng khi cá nhân đạt đến mức độ tự chủ cao hơn trong lựa chọn hành vi [2],[6]. Những kết quả này cho thấy hành vi tập luyện không đơn thuần là ý chí cá nhân mà phản ánh một phần đặc điểm sinh học nội tại.

Mặc dù đã có nhiều tiến bộ trong việc xác định vai trò của di truyền, lĩnh vực này vẫn tồn tại khoảng trống đáng kể. Thứ nhất, phần lớn các nghiên cứu tập trung vào mối liên quan giữa gen và mức độ hoạt động thể chất, trong khi các khía cạnh hành vi như động lực, sự tuân thủ và trải nghiệm chủ quan vẫn chưa được làm rõ đầy đủ. Thứ hai, việc tích hợp các tầng dữ liệu sinh học, tâm lý và hành vi để xây dựng mô hình giải thích toàn diện vẫn còn hạn chế. Cuối cùng, các ứng dụng lâm sàng của những phát hiện di truyền trong thiết kế can thiệp cá thể hóa nhằm cải thiện tuân thủ tập luyện vẫn chưa được khai thác nhiều.

Trong bối cảnh đó, việc tổng hợp các bằng chứng hiện có về vai trò của yếu tố di truyền trong hành vi hoạt động thể chất là cần thiết nhằm làm rõ bản chất của hiện tượng này. Bài báo này nhằm (1) phân tích các bằng chứng về đóng góp của di truyền đối với hành vi tập luyện, (2) làm rõ các cơ chế sinh học và tâm lý trung gian, và (3) thảo luận các hàm ý lâm sàng hướng tới cá thể hóa can thiệp vận động trong thực hành y học hiện đại.

## 2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Thiết kế nghiên cứu

Nghiên cứu này được thực hiện dưới dạng tổng quan tường thuật có cấu trúc, nhằm tổng hợp và phân tích các bằng chứng hiện có về vai trò của yếu tố di truyền trong hành vi hoạt động thể chất.

### 2.2. Tìm kiếm tài liệu

Quá trình tìm kiếm tài liệu được tiến hành trên cơ sở dữ liệu điện tử PubMed, với khoảng thời gian từ tháng 01 năm 2000 đến tháng 12 năm 2025. PubMed được lựa chọn do đây là cơ sở dữ liệu y sinh học lớn, có độ tin cậy cao và bao phủ phần lớn các nghiên cứu liên quan đến di truyền học hành vi, hoạt động thể chất và khoa học vận động. Chiến lược tìm kiếm được xây dựng dựa trên ba nhóm từ khóa chính liên quan đến di truyền ("genetic", "heritability", "genome-wide association study", "GWAS", "polymorphism"), hành vi hoạt động thể chất ("physical activity", "exercise behavior", "exercise adherence", "exercise motivation") và các cơ chế sinh học ("dopamine", "brain-derived neurotrophic factor", "reward system", "fatigue", "perceived exertion").

### 2.3. Lựa chọn nghiên cứu

Các nghiên cứu được chọn: (1) được thực hiện trên đối tượng người; (2) đánh giá mối liên quan giữa yếu tố di truyền và hành vi hoạt động thể chất, bao gồm mức độ hoạt động thể chất, hành vi tham gia tập luyện hoặc khả năng duy trì tập luyện theo thời gian.

Các nghiên cứu sẽ bị loại trừ: (1) nghiên cứu trên động vật; (2) nghiên cứu chỉ tập trung vào hiệu suất thể thao mà không liên quan đến hành vi hoạt động thể chất; (3) bài xã luận, thư trao đổi học thuật hoặc tóm tắt hội nghị không đầy đủ dữ liệu; (4) nghiên cứu không cung cấp dữ liệu liên quan trực tiếp đến yếu tố di truyền.

Tổng cộng có 472 tài liệu được ghi nhận từ quá trình tìm kiếm ban đầu. Sau khi loại bỏ các bài trùng lặp và sàng lọc tiêu đề, tóm tắt, 54 bài báo toàn văn được đánh giá chi tiết. Cuối cùng, 18 bài báo phù hợp được đưa vào phân tích trong bài tổng quan này (Bảng 1).

## 3. BÀN LUẬN

### 3.1. Cấu trúc di truyền: đặc điểm đa gen và mức độ ảnh hưởng

Các nghiên cứu đã mở rộng hiểu biết về cấu trúc di truyền của hành vi hoạt động thể chất, cho thấy đây là một đặc điểm đa gen, trong đó nhiều biến thể di truyền cùng tham gia vào sự biến thiên của hành vi [7],[8]. Một số vị trí di truyền liên quan đến mức độ hoạt động thể chất, cũng như khuynh hướng tham gia hành vi vận động đã được xác

**Bảng 1.** Các nhóm bằng chứng chính về vai trò của yếu tố di truyền trong hành vi hoạt động thể chất.

Phát hiện chính	Ý nghĩa lâm sàng và khoa học	Nghiên cứu tiêu biểu
Hệ số di truyền của hành vi hoạt động thể chất dao động khoảng 20–60%; mức độ tương đồng cao hơn ở song sinh cùng trứng	Hành vi tập luyện có thành phần di truyền đáng kể bên cạnh ảnh hưởng môi trường	[1],[2],[3],[4],[5],[18]
Ảnh hưởng di truyền đối với hành vi vận động có tính ổn định theo thời gian và thay đổi theo giai đoạn phát triển	Yếu tố di truyền có thể ảnh hưởng lâu dài đến khả năng duy trì tập luyện	[2],[6]
Xác định nhiều locus di truyền liên quan đến mức độ hoạt động thể chất và sở thích vận động	Hành vi hoạt động thể chất là đặc điểm đa gen, không phụ thuộc một gen đơn lẻ	[7],[8],[9]
Các biến thể liên quan dopamine ảnh hưởng động lực vận động, cảm giác tưởng thưởng và khả năng duy trì tập luyện	Giải thích khác biệt cá thể trong trải nghiệm tập luyện và tuân thủ vận động	[10],[11],[12],[13]
Có mối liên hệ giữa di truyền, hoạt động thể chất và các yếu tố như động lực, lo âu, trầm cảm và sức khỏe chủ quan	Yếu tố tâm lý đóng vai trò cầu nối giữa nền tảng sinh học và hành vi thực tế	[14],[15],[16],[17]
Ảnh hưởng di truyền biểu hiện mạnh hơn trong môi trường thuận lợi cho vận động	Di truyền không mang tính quyết định tuyệt đối; môi trường và can thiệp hành vi vẫn giữ vai trò quan trọng	[2],[6],[18]
Đặc điểm di truyền có thể liên quan đáp ứng cá thể với chương trình vận động	Mở ra tiềm năng phát triển các mô hình vận động cá thể hóa và phục hồi chức năng chính xác	[10],[12],[13]

định, cho thấy yếu tố di truyền có thể góp phần ảnh hưởng đến hành vi tập luyện bên cạnh vai trò quan trọng của môi trường và trải nghiệm cá nhân [8],[9].

Tuy nhiên, tổng hợp các bằng chứng cho thấy mỗi biến thể riêng lẻ chỉ giải thích một phần rất nhỏ trong sự thay đổi chung, phản ánh tính chất phức tạp và đa yếu tố của hành vi tập luyện. Điều này có ý nghĩa quan trọng trong thực hành, bởi việc dự đoán hành vi dựa trên một hoặc một vài gen là không khả thi. Thay vào đó, cần tiếp cận theo hướng tích hợp đa yếu tố, bao gồm cả dữ liệu di truyền, sinh lý và hành vi.

### **3.2. Cơ chế thần kinh sinh học: vai trò trung tâm của hệ thống dopaminergic**

Nhiều bằng chứng cho thấy các yếu tố di truyền liên quan đến hệ thống dopaminergic có liên quan đến mức độ tham gia vận động, khả năng duy trì tập luyện và sự thay đổi hành vi theo thời gian [10],[11],[12]. Ở những cá thể có đáp ứng dopaminergic mạnh hơn khi vận động, hoạt động thể chất thường mang lại trải nghiệm tích cực, từ đó thúc đẩy quá trình hình thành và duy trì hành vi. Ngược lại, những cá thể có đáp ứng dopaminergic thấp có thể gặp nhiều khó khăn hơn trong việc duy trì hành vi vận động lâu dài, dẫn đến nguy cơ không tuân thủ tập luyện cao hơn [13]. Điều này góp phần giải thích sự khác biệt rõ rệt giữa các cá nhân trong trải nghiệm tập luyện, khi cùng một chương trình vận động có thể được cảm nhận theo những cách hoàn toàn khác nhau, từ dễ chịu và duy trì lâu dài đến khó chịu và dễ dàng từ bỏ. Tuy nhiên, những khác biệt sinh học này không đồng nghĩa với việc khả năng duy trì tập luyện là cố định. Các chiến lược hỗ trợ hành vi, môi trường thuận lợi và chương trình vận động phù hợp vẫn có thể cải thiện đáng kể khả năng tham gia và duy trì hoạt động thể chất ở nhiều cá thể.

### **3.3. Các yếu tố tâm lý: vai trò cầu nối giữa nền tảng sinh học và hành vi thực tế**

Bên cạnh các cơ chế sinh học trực tiếp, yếu tố di truyền còn tác động gián tiếp thông qua các đặc điểm tâm lý. Các nghiên cứu cho thấy mối liên hệ giữa yếu tố di truyền và các yếu tố như thái độ đối với tập luyện, động lực nội tại và phản ứng cảm xúc khi vận động [14],[15]. Đồng thời, mối liên quan giữa hoạt động thể chất và các trạng thái tâm lý như lo âu, trầm cảm và sức khỏe chủ quan cũng có nền tảng di truyền chung [16],[17].

Những kết quả này gợi ý rằng hành vi tập luyện không chỉ là kết quả của khả năng thể chất, mà còn phụ thuộc vào cách cá nhân cảm nhận và diễn giải trải nghiệm vận động. Do đó, các yếu tố tâm lý đóng vai trò cầu nối giữa nền tảng sinh học và hành vi thực tế, góp phần giải thích sự khác biệt đáng kể về khả năng duy trì tập luyện giữa các cá nhân.

### **3.4. Tương tác giữa gen và môi trường**

Mặc dù yếu tố di truyền đóng vai trò đáng kể trong việc định hình hành vi hoạt động thể chất, các bằng chứng cho thấy môi trường là yếu tố quyết định việc biểu hiện. Sự tương tác giữa gen và môi trường thể hiện rõ qua việc các điều kiện thuận lợi, như khả năng tiếp cận cơ sở tập luyện hoặc sự hỗ trợ xã hội, có thể khuếch đại ảnh hưởng của yếu tố di truyền, trong khi môi trường bất lợi có thể làm suy giảm hoặc che lấp tiềm năng di truyền vốn có [6],[18].

Một số nghiên cứu cho thấy hệ số di truyền của hoạt động thể chất có xu hướng cao hơn trong các môi trường giàu nguồn lực, nơi cá nhân có nhiều lựa chọn hành vi hơn, gợi ý rằng ảnh hưởng của yếu tố di truyền trở nên rõ rệt hơn khi các rào cản môi trường được giảm thiểu [2],[6]. Điều này phù hợp với quan điểm rằng yếu tố di truyền không hoạt động một cách độc lập, mà luôn tương tác với bối cảnh môi trường cụ thể.

Từ góc độ ứng dụng, việc tập trung đơn thuần vào yếu tố di truyền mà bỏ qua môi trường là không đầy đủ. Một chiến lược hiệu quả cần hướng tới việc tối ưu hóa các yếu tố môi trường nhằm tạo điều kiện thuận lợi cho việc hình thành và duy trì hành vi vận động tích cực, qua đó nâng cao khả năng tham gia và duy trì hoạt động thể chất ở mức cá thể.

### 3.5. Từ gen đến hành vi: mô hình hướng tới y học vận động cá thể hóa

Một trong những hàm ý quan trọng nhất của các bằng chứng hiện có là sự dịch chuyển từ mô hình khuyến cáo tập luyện đồng nhất sang cách tiếp cận cá thể hóa dựa trên đặc điểm sinh học và hành vi. Các dữ liệu di truyền cho thấy sự khác biệt đáng kể giữa các cá nhân về khả năng tham gia, duy trì và đáp ứng với hoạt động thể chất [2],[3],[4]. Do đó, việc áp dụng một chương trình tập luyện tiêu chuẩn cho toàn bộ quần thể có thể không đạt hiệu quả tối ưu ở cấp độ cá thể.

Trên nền tảng này, cá thể hóa chương trình tập luyện có thể được định hướng theo nhiều khía cạnh. Thứ nhất, cường độ vận động cần được điều chỉnh phù hợp với khả năng dung nạp sinh lý và mức độ cảm nhận gắng sức của từng cá nhân, vốn chịu ảnh hưởng một phần bởi yếu tố di truyền [13]. Thứ hai, lựa chọn loại hình vận động có thể cần cần nhắc đến đặc điểm đáp ứng của hệ thống dopaminergic, nhằm tối ưu hóa trải nghiệm tích cực trong quá trình tập luyện và tăng khả năng duy trì hành vi [10],[11],[12]. Cuối cùng, thời gian và tần suất tập luyện cũng có thể được điều chỉnh linh hoạt dựa trên đáp ứng cá thể theo thời gian. Cách tiếp cận cá thể hóa không nhằm phân loại khả năng tập luyện dựa trên đặc điểm di truyền, mà hướng tới việc tối ưu hóa chiến lược hỗ trợ và nâng cao khả năng tuân thủ vận động ở từng cá thể.

### 3.6. Phân tầng nguy cơ không tuân thủ tập luyện

Một ứng dụng tiềm năng khác của các phát hiện di truyền là khả năng phân tầng nguy cơ không tuân thủ tập luyện. Việc nhận diện sớm nhóm có xu hướng ít duy trì tập luyện và có nguy cơ bỏ tập sớm có thể giúp định hướng các chiến lược can thiệp phù hợp hơn, bao gồm tăng cường hỗ trợ hành vi, điều chỉnh mục tiêu tập luyện hoặc tích hợp các biện pháp hỗ trợ tâm lý. Cách tiếp cận này phù hợp với xu hướng chuyển từ can thiệp đại trà sang can thiệp phân tầng dựa trên đặc điểm cá thể, góp phần nâng cao hiệu quả của các chương trình thúc đẩy hoạt động thể chất.

### 3.7. Tích hợp công nghệ số trong việc theo dõi cá thể hóa

Sự phát triển của các công nghệ y tế số mở ra cơ hội tích hợp dữ liệu di truyền với dữ liệu hành vi và sinh lý theo thời gian thực. Các thiết bị đeo và hệ thống theo dõi hoạt động cho phép thu thập liên tục các chỉ số liên quan đến vận động, từ đó phản ánh đáp ứng cá thể đối với chương trình tập luyện. Khi kết hợp với thông tin di truyền, các hệ thống này có thể hỗ trợ điều chỉnh chương trình tập luyện theo hướng thích ứng, phù hợp với đặc điểm sinh học và hành vi của từng cá nhân.

### 3.8. Hàm ý thực hành trong chăm sóc sức khỏe

Các bằng chứng hiện nay cho thấy hành vi hoạt động thể chất chịu ảnh hưởng đáng kể bởi sự tương tác giữa yếu tố sinh học, tâm lý và môi trường. Do đó, cách tiếp cận đồng nhất trong khuyến cáo vận động có thể không đạt hiệu quả tối ưu ở mọi cá thể. Thay vào đó, xu hướng y học hiện đại đang chuyển dần sang mô hình cá thể hóa, trong đó chương trình tập luyện được điều chỉnh phù hợp với đặc điểm sinh học và hành vi của từng người.

Ở những cá thể gặp khó khăn trong việc duy trì tập luyện, việc tăng cường các chiến lược hỗ trợ hành vi có thể đóng vai trò quan trọng. Các biện pháp như thiết lập mục tiêu ngắn hạn, củng cố tích cực, theo dõi tiến trình thường xuyên và tăng cường động lực nội tại có thể giúp cải thiện khả năng tuân thủ vận động. Ứng dụng các thiết bị theo dõi hoạt động và công nghệ y tế số cho phép đánh giá liên tục mức độ vận động và đáp ứng cá thể theo thời gian thực, từ đó hỗ trợ điều chỉnh chương trình tập luyện theo hướng thích ứng và phù hợp hơn với từng cá nhân.

Trong lĩnh vực phục hồi chức năng, việc nhận diện sớm nhóm có nguy cơ không tuân thủ tập luyện có ý nghĩa quan trọng đối với hiệu quả điều trị lâu dài. Những bệnh nhân có xu hướng giảm động lực tập luyện hoặc duy trì tập luyện kém cần được tăng cường hỗ trợ tâm lý hành vi, kết hợp với các chương trình phục hồi cá thể hóa nhằm cải thiện mức độ tham gia điều trị và hạn chế tình trạng bỏ tập sớm.

## Hạn chế

Thứ nhất, hệ số di truyền không đồng nghĩa với mối quan hệ nhận quả trực tiếp. Thứ hai, mối liên quan giữa yếu tố di truyền và hành vi hoạt động thể chất thường mang tính xác suất và chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố tương tác phức tạp, các kết quả hiện có chưa đủ để dự đoán chính xác hành vi vận động ở cấp độ cá thể. Thứ ba, phần lớn các nghiên cứu hiện nay được thực hiện trên quần thể có nguồn gốc châu Âu, do đó khả năng khái quát hóa kết quả cho các quần thể khác vẫn còn hạn chế.

## 4. KẾT LUẬN

Hành vi hoạt động thể chất là một đặc điểm chịu ảnh hưởng đồng thời của di truyền, tâm lý và môi trường. Các bằng chứng hiện nay cho thấy yếu tố di truyền góp phần đáng kể vào sự khác biệt cá thể trong khả năng tham gia và duy trì tập luyện, đặc biệt thông qua các cơ chế thần kinh liên quan đến hệ dopaminergic và đáp ứng cảm xúc khi vận động. Tuy nhiên, ảnh hưởng của di truyền không mang tính quyết định tuyệt đối mà luôn tương tác với môi trường và các chiến lược can thiệp hành vi. Những hiểu biết này nhấn mạnh nhu cầu phát triển các mô hình tích hợp nhằm nâng cao hiệu quả ứng dụng trong thực hành y học dự phòng, phục hồi chức năng và quản lý bệnh mạn tính.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. de Geus EJ, Bartels M, Kaprio J, Lightfoot JT, Thomis M. Genetics of regular exercise and sedentary behaviors. *Twin Res Hum Genet.* 2014;17(4):262-71. doi: 10.1017/thg.2014.42. PubMed PMID: 25034445.

[2]. Huppertz C, Bartels M, de Zeeuw EL, van Beijsterveldt CEM, Hudziak JJ, Willemsen G, et al. Individual Differences in Exercise Behavior: Stability and Change in Genetic and Environmental Determinants From Age 7 to 18. *Behav Genet.* 2016;46(5):665-79. Epub 20160712. doi: 10.1007/s10519-016-9799-x. PubMed PMID: 27406597.

[3]. Stubbe JH, Boomsma DI, De Geus EJ. Sports participation during adolescence: a shift from environmental to genetic factors. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(4):563-70. doi: 10.1249/01.mss.0000158181.75442.8b. PubMed PMID: 15809553.

[4]. Stubbe JH, Boomsma DI, Vink JM, Cornes BK, Martin NG, Skyttthe A, et al. Genetic influences on exercise participation in 37,051 twin pairs from seven countries. *PLoS One.* 2006;1(1):e22. Epub 20061220. doi: 10.1371/journal.pone.0000022. PubMed PMID: 17183649; PubMed Central PMCID: PMC1762341.

[5]. van der Aa N, De Geus EJ, van Beijsterveldt TC, Boomsma DI, Bartels M. Genetic Influences on Individual Differences in Exercise Behavior during Adolescence. *Int J Pediatr.* 2010;2010:138345. Epub 20100629. doi: 10.1155/2010/138345. PubMed PMID: 20672022; PubMed Central PMCID: PMC2909712.

[6]. van der Zee MD, van der Mee D, Bartels M, de Geus EJC. Tracking of voluntary exercise behaviour over the lifespan. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2019;16(1):17. Epub 20190204. doi: 10.1186/s12966-019-0779-4. PubMed PMID: 30717763; PubMed Central PMCID: PMC6360805.

[7]. Doherty A, Smith-Byrne K, Ferreira T, Holmes MV, Holmes C, Pulit SL, et al. GWAS identifies 14 loci for device-measured physical activity and sleep duration. *Nat Commun.* 2018;9(1):5257. Epub 20181210. doi: 10.1038/s41467-018-07743-4. PubMed PMID: 30531941; PubMed Central PMCID: PMC6288145.

[8]. Klimentidis YC, Raichlen DA, Bea J, Garcia DO, Wineinger NE, Mandarino LJ, et al. Genome-wide association study of habitual physical activity in over 377,000 UK Biobank participants identifies multiple variants including CADM2 and APOE. *Int J Obes (Lond).* 2018;42(6):1161-76. Epub 20180613. doi: 10.1038/s41366-018-0120-3. PubMed PMID: 29899525; PubMed Central PMCID: PMC6195860.

[9]. Klimentidis YC, Newell M, MD VDZ, Bland VL, May-Wilson S, Arani G, et al. Genome-wide Association Study of Liking for Several Types of Physical Activity in the UK Biobank and Two Replication Cohorts. *Med Sci Sports Exerc.* 2022;54(8):1252-60. Epub 20220311. doi: 10.1249/mss.0000000000002907. PubMed PMID: 35320144; PubMed Central PMCID: PMC9288543.

[10]. DJ VDM, Fedko IO, Hottenga JJ, Ehli EA, MD VDZ, Ligthart L, et al. Dopaminergic Genetic Variants and Voluntary Externally Paced Exercise Behavior. *Med Sci Sports Exerc.* 2018;50(4):700-

8. doi: 10.1249/mss.0000000000001479. PubMed PMID: 29135816; PubMed Central PMCID: PMC5856580.

[11]. Dohrn IM, Papenberg G, Winkler E, Welmer AK. Impact of dopamine-related genetic variants on physical activity in old age - a cohort study. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2020;17(1):68. Epub 20200524. doi: 10.1186/s12966-020-00971-2. PubMed PMID: 32448293; PubMed Central PMCID: PMC7245799.

[12]. Rosso AL, Metti AL, Glynn NW, Boudreau RM, Rejeski WJ, Bohnen N, et al. Dopamine-Related Genotypes and Physical Activity Change During an Intervention: The Lifestyle Interventions and Independence for Elders Study. *J Am Geriatr Soc.* 2018;66(6):1172-9. Epub 20180410. doi: 10.1111/jgs.15369. PubMed PMID: 29637543; PubMed Central PMCID: PMC6105503.

[13]. Flack K, Pankey C, Ufholz K, Johnson L, Roemmich JN. Genetic variations in the dopamine reward system influence exercise reinforcement and tolerance for exercise intensity. *Behav Brain Res.* 2019;375:112148. Epub 20190809. doi: 10.1016/j.bbr.2019.112148. PubMed PMID: 31404557.

[14]. De Moor MH, Beem AL, Stubbe JH, Boomsma DI, De Geus EJ. Regular exercise, anxiety, depression and personality: a population-based study. *Prev Med.* 2006;42(4):273-9. Epub 20060124. doi: 10.1016/j.ypmed.2005.12.002. PubMed PMID: 16439008.

[15]. Huppertz C, Bartels M, Jansen IE, Boomsma DI, Willemsen G, de Moor MH, et al. A twin-sibling study on the relationship between exercise attitudes and exercise behavior. *Behav Genet.* 2014;44(1):45-55. Epub 20130927. doi: 10.1007/s10519-013-9617-7. PubMed PMID: 24072598; PubMed Central PMCID: PMC3893360.

[16]. De Moor MH, Boomsma DI, Stubbe JH, Willemsen G, de Geus EJ. Testing causality in the association between regular exercise and symptoms of anxiety and depression. *Arch Gen Psychiatry.* 2008;65(8):897-905. doi: 10.1001/archpsyc.65.8.897. PubMed PMID: 18678794.

[17]. De Moor MH, Stubbe JH, Boomsma DI, De Geus EJ. Exercise participation and self-rated health: do common genes explain the association? *Eur J Epidemiol.* 2007;22(1):27-32. Epub 20061229. doi: 10.1007/s10654-006-9088-8. PubMed PMID: 17195050.

[18]. de Vilhena e Santos DM, Katzmarzyk PT, Seabra AF, Maia JA. Genetics of physical activity and physical inactivity in humans. *Behav Genet.* 2012;42(4):559-78. Epub 20120317. doi: 10.1007/s10519-012-9534-1. PubMed PMID: 22426782.