



## زیست‌شناسی تکاملی ریتم موسیقایی: اشتباه داروین<sup>۱</sup>

دکتر آنیرو پیتل<sup>۲</sup> ©

استاد روان‌شناسی دانشگاه تافتس، ایالت ماساچوست،

ایالات متحده آمریکا

مریم نورنمایی<sup>۳</sup>

دانشجوی دکتری زبان‌شناسی، گروه زبان‌شناسی، دانشکده ادبیات، دانشگاه الزهراء،

تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۲ خرداد ۱۴۰۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۵ مهر ۱۴۰۱؛ تاریخ انتشار: ۹ آذر ۱۴۰۱)

در کتاب «نسل بشر»<sup>۴</sup> داروین درباره توانایی ما در درک ریتم موسیقایی فرضیه‌ای داشت مبنی بر اینکه، این توانایی جنبه‌های بنیادین عملکرد مغز ما را، که با حیوانات اشتراک بسیار دارد، بازنمایی می‌کند. با وجود اینکه این فرضیه همچنان به صورت ایده جالب‌توجهی باقی مانده است؛ مطالعات جدید گونه‌های مختلف خلاف فرضیه داروین را نشان می‌دهند. این پژوهش مبین این مسئله است که توانایی ما برای همگام‌شدن با یک ضرب، یعنی حرکت همزمان با درک پالس به طوری که این حرکت در دامنه وسیعی از گام‌ها قابل‌انعطاف و قابل‌پیش‌بینی باشد، تنها بین انسان و چند گونه جانوری محدود مشترک است. اگر واقعاً چنین باشد، این واقعیت پیامدهای ضمنی مهمی را برای درک ما از مسئله تکامل موسیقایی انسان در پی خواهد داشت.

**واژه‌های کلیدی:** تکامل موسیقی، ریتم، پردازش ضرب‌محور، تشدید عصبی، فرضیه یادگیری کلامی، داروین، زیست‌شناسی تکاملی.

<sup>۱</sup> این مقاله ترجمه خانم مریم نورنمایی است و اصل آن با مشخصات زیر به زبان انگلیسی چاپ شده است

Patel AD (2014) The Evolutionary Biology of Musical Rhythm: Was Darwin Wrong? PLoS Biol 12(3): e1001821. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001821>

<sup>۲</sup> E-mail: a.patel@tufts.edu

© (نویسنده مسؤول)

<sup>۳</sup> E-mail: ma.namaee@yahoo.com

<sup>۴</sup> Darwin, Ch. (1871). *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*, In two Volumes, John Murray publication, United Kingdom, London.

## مقدمه

موسیقی نوعی توانایی جهانی برای بشر به‌شمار می‌رود و قدمتی دیرینه دارد. فلوت‌های استخوانی ظریف و تراشیده که ساخته دست شکارچیان گروهی عصر یخبندان بوده‌است، از قدیمی‌ترین نقاشی‌های مشهور غارهاست که به چندین هزار سال پیش باز می‌گردد (کنارد، مالینا و مونزل<sup>۱</sup> ۲۰۰۹؛ مورلی<sup>۲</sup> ۲۰۱۳). فرم‌ها و معانی موسیقایی از گوناگونی وسیعی در میان فرهنگ‌های مختلف برخوردارند؛ اما چند ویژگی خاص موسیقی در انسان در میان همه فرهنگ‌ها مشترک است (براون و جردنیا<sup>۳</sup> ۲۰۱۳). به‌عنوان مثال، هر فرهنگ دارای فرم خاصی از موسیقی است که رقصنده‌ها، با یک ضرب یا با درک یک پالس متناوب، طبق آن به حرکت‌های خود جهت می‌دهند و اجراکنندگان از این ضرب برای هماهنگ‌ساختن حرکت‌های‌شان بهره می‌گیرند (نتل<sup>۴</sup> ۲۰۰۰).

داروین<sup>۵</sup> که مجذوب قدرت و فراگیری موسیقی در زندگی انسان شده بود، چنین پنداشت که درک ما از آهنگ و ریتم به ویژگی‌های بنیادین و دیرینه عملکرد مغز ما مربوط می‌شود و این‌گونه استدلال کرد که: «درک، یا لذت آهنگ‌های موسیقایی و درک ریتم احتمالاً در میان همه جانوران مشترک است و هیچ شکی نیست که این درک به ماهیت فیزیولوژیکی مشترک سیستم عصبی آن‌ها وابسته است (داروین ۱۸۷۱)». دریافت شمی داورین درست به‌نظر می‌رسید. در باب ریتم، غلبه ریتم‌های متناوب (یا نیمه‌متناوب) در زیست‌شناسی جانوری (مثل ریتم ضربان قلب، یورتمه و فعالیت مغز) این حدس را منطقی جلوه می‌دهد که فرایند ریتمیک ضرب‌محور ریشه‌های تکاملی دیرینه دارد.

رویکرد داروین بیانگر این امر است که پردازش ضرب موسیقایی ویژگی‌های خاصی دارد که باید در انسان و گونه‌های دیگر جانداران مشابه باشد. یکی از برجسته‌ترین ویژگی‌های پردازش ضرب موسیقایی در انسان این است که بین درک انسان و عمل (حرکت) او پیوند عمیقی برقرار می‌کند. معمولاً انسان درک خود از ضرب را به‌طور همزمان با تکان‌های ریتمیک خود (پایکوبی یا تکان‌دادن سر) نشان می‌دهد (توی‌ویاینن، لاک و تامپسون<sup>۶</sup> ۲۰۱۰). یعنی، انسان‌ها حرکت‌های ریتمیک خود را با ضرب در موسیقی همراه می‌کنند و در موقعیت‌های اجتماعی (مثل رقص یا مارش نظامی) این امر

<sup>1</sup> Conard, Malina & Münzel

<sup>2</sup> Morely

<sup>3</sup> Brown & Jordania

<sup>4</sup> Nettle

<sup>5</sup> Darwin

<sup>6</sup> Toiviainen, Luck & Thompson

می‌تواند به همگامی حرکت‌های ریتمیک درون گروه‌های اجتماعی منجر شود (مکنیل<sup>۱</sup> ۱۹۹۵). ضمن تأیید نظر داروین، توانایی تنظیم فعالیت‌ها با ضرب متناوب به گونه‌ی انسان منحصر نیست: چند گونه‌ی جانوری دیگر مثل قورباغه‌ها و حشرات نیز شناخته شده‌اند که همراه با هم‌نوعان خود صدا یا نور متناوب تولید می‌کنند (گرینفیلد<sup>۲</sup> ۲۰۰۵). در واقع، این مسئله مبین این نکته است که همراهی ریتمیک تقریباً در نظام‌های زیستی به‌مراتب یافت می‌شود (میرولو و استروگتز<sup>۳</sup> ۱۹۹۰).

رویکرد همگام‌سازی ریتمیک به‌عنوان بنیادی‌ترین امر در نظام‌های زیستی، فقط چند مدل متداول در پردازش ضرب‌محور موسیقایی را گزارش می‌کند. به‌طور مثال، در نظریه‌ی «تشدید عصبی»<sup>۴</sup> (لارج و سیندر<sup>۵</sup> ۲۰۰۹؛ لارج ۲۰۱۰)، درک ضرب از زمانی آغاز می‌شود که نوسانات غیرخطی در دستگاه عصبی با محرک‌های ریتمیک خارجی همراهی می‌کنند (یا همگام با آن‌ها نوسان می‌کنند). این نظریه با رویکرد داروین همسوست؛ زیرا نشان می‌دهد که نوسانات غیرخطی در تمام فضای دینامیکی مغز حضور دارد و اینکه همگامی عصبی این نوسانات با ریتم‌های شنیداری «در فیزیک دستگاه‌های عصبی شامل درک، همراهی و واکنش به محرک‌های شنیداری امری درونی است.» (لارج و سیندر ۲۰۰۹)

چنین رویکردی به‌خاطر جامعیت آن قابل توجه است؛ اما فیچ<sup>۶</sup>، زیست‌شناس، آن را «تناقض ریتم»<sup>۷</sup> می‌داند. وی می‌گوید: «ظاهراً تناوب و همراهی از بنیادی‌ترین ویژگی‌های موجودات زنده است؛ اما توانایی انسان (و تمایل) او به همراهی خروجی موتور مغز با محرک‌های شنیداری در میان موجودات بسیار نادر است.» (فیچ ۲۰۱۲) وی این تناقض را به زبان ساده‌تر این‌گونه بیان می‌کند و می‌پرسد: «چرا سگ‌ها نمی‌رقصند؟» سگ‌ها هزاران سال است که در کنار انسان‌ها (و موسیقی انسان‌ها) زندگی کرده‌اند؛ اما آن‌ها هیچ نوع واکنش همزمان برای همگام‌سازی حرکت‌های خود با ضرب موسیقایی نشان نمی‌دهند. درحقیقت، حتی وقتی انسان‌ها سعی می‌کنند رقصیدن با موسیقی را به سگ‌ها آموزش دهند، سگ‌ها هیچ نشانه‌ای از درک ضرب یا حرکت همگام با آن نشان نمی‌دهند باوجوداینکه رقصیدن انسان‌ها را درکنار خود می‌بینند (شاخنر<sup>۸</sup> ۲۰۱۰).

<sup>1</sup> McNeil

<sup>2</sup> Greenfield

<sup>3</sup> Mirolo & Strogatz

<sup>4</sup> Neural Resonance

<sup>5</sup> Large & Synder

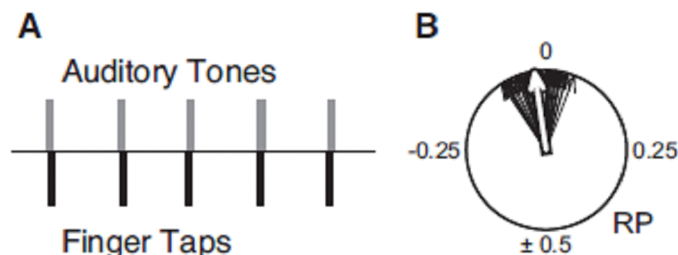
<sup>6</sup> Fitch

<sup>7</sup> The Paradox of Rhythm

<sup>8</sup> Schachner

### کاستی‌های دیدگاه داروین

از مشاهدات غیر رسمی سگ‌ها که بگذریم، مشکل جدی‌تری با دیدگاه داروین داریم؛ زیرا افزایش مطالعات ضرب‌محور از مطالعات آزمایشگاهی بر روی نخستی‌سانان بزرگ غیرانسان حاصل شده‌است (زارکو، مرچنت، پرادو و مندز<sup>۱</sup>؛ هاتوری، توموناگا و مت سوزوآ<sup>۲</sup> ۲۰۱۳). برای پی بردن به اهمیت این مطالعات، لازم است برخی ویژگی‌های اصلی انسان را در نحوه همگام‌سازی حرکت‌هایش با ضرب مرور کنیم. انسان‌ها معمولاً می‌توانند حرکت‌های خود را با ضرب محرک‌های شنیداری پیچیده (مثل موسیقی) همگام سازند و مشخصات این توانایی را می‌توان از طریق درخواست از افراد برای ضربه‌زدن همراه مترونوم<sup>۳</sup> بررسی کرد. این آزمایشی ساده و اغلب برای افراد بالغ است؛ حتی برای کسانی که هیچ‌گونه آموزش موسیقایی ندیده باشند. توانایی همگام‌شدن با مترونوم به انجام تحقیقات مفیدی در پردازش حسی-حرکتی<sup>۴</sup> منتهی شد (رپ و سو<sup>۵</sup>). سه ویژگی اصلی در همگامی انسان با ضرب مترونوم عبارت‌انداز: ۱. پیش‌بینی‌پذیری؛ ۲. انعطاف‌پذیری در همگامی با گام و ۳. همگامی چندکاناله<sup>۶</sup>. درباره ویژگی نخست، انسان همزمان در ضربه‌زدن با مترونوم، ضربه‌های خود را با ضرب مترونوم هماهنگ می‌کند: ضربه‌ها به آغاز ضرب‌های مترونوم بسیار نزدیک می‌شوند و معمولاً فقط در عرض چند ده میلی‌ثانیه اختلاف دارند (شکل ۱).



شکل ۱. نمایش نحوه ضربه‌زدن انسان بالغ در حین شنیدن ضرب‌های مترونوم.

در شکل اول (الف)، میله‌های خاکستری بالایی زمان چند ضرب مترونوم را نشان می‌دهند (نواهای جزئی با فواصل آغازین<sup>۷</sup> برابر با ۶۰۰ میلی‌ثانیه). میله‌های سیاه پایینی ضربه‌های انسان را نشان می‌دهند

<sup>1</sup> Zarco, Merchant, Prado & Mendez

<sup>2</sup> Hattori, Tomonaga & Matsuzawa

<sup>3</sup> Metronome

<sup>4</sup> Sensorimotor Processing

<sup>5</sup> Repp & Su

<sup>6</sup> Cross-modality

<sup>7</sup> Interonset Interval (IOI)

که به نوای آغازین بسیار نزدیک شده‌اند). شکل اول (ب) خلاصه داده را از آزمایش ۴۰ نوا نشان می‌دهد. مدت‌زمان نسبی<sup>۱</sup> (RP) هر ضربه با یک بردار سیاه باریک بر روی یک دایره نمایش داده می‌شود: عدد صفر نشان‌دهنده همگامی زمانی کامل بین ضربه‌ها و نواهاست، مقادیر RP منفی ضربه‌هایی را نشان می‌دهد که پیش از نواها اجرا شده‌اند و مقادیر RP مثبت ضربه‌هایی را نشان می‌دهند که بعد از نواها اجرا شده‌اند. مقدار مثبت یا منفی ۰/۵ نشان می‌دهد که ضربه‌ها بین نواها قرار گرفته‌اند. پیکان سفید نمایانگر میانگین مدت زمان است که در این مورد تقریباً منفی بوده‌است (یعنی به‌طور متوسط، ضربه‌ها از نظر زمانی کمی قبل‌تر از نواها زده شده‌اند).

این شکل نشان می‌دهد که توانایی ضربه‌زدن در انسان پیش‌بینی دقیق زمان ضرب بعدی را کنترل می‌کند. به بیان دیگر، به‌جای اینکه بگوییم هر ضربه‌ای یک واکنش ساده به هر محرک است (اگر ضربه‌ها واکنشی بودند نه پیش‌بینی‌کننده، باید چندصد میلی‌ثانیه بعد از ضرب اجرا می‌شدند)، باید بگوییم یک مدل ذهنی زمانی وجود دارد که حرکت‌ها را کنترل می‌کند.

در مورد ویژگی دوم، همگامی با مترونوم (و با موسیقی) در افراد بزرگسال بسیار انعطاف‌پذیر است: تازمانی که فواصل بین ضرب‌ها در حدود ۳۰۰ تا ۹۰۰ میلی‌ثانیه باشند-یعنی تقریباً ضرب‌ها بین ۲۰ تا ۶۷ در دقیقه<sup>۲</sup> باشند-انسان‌ها قادرند همگام‌سازی را با سرعت و بادقت انجام دهند (رپ، ۲۰۰۵). این معیار تمایز همگامی انسان با ضرب را با دیگر گونه‌های دنبال‌کننده ریتم در طبیعت نشان می‌دهد. به‌طور مثال، یک کرم شب‌تاب تنها می‌تواند با کرم‌های شب‌تاب دیگر در گستره یک گام بسیار کوچک و تقریباً هم‌زمان با سرعت نورافشانی‌شان، همگام شود (هانسون، کیس، باک و باک<sup>۳</sup> ۱۹۷۱).

در ارتباط با ویژگی سوم، انسان‌ها از توانایی همگام‌شدن با یک ضرب به‌صورت چندکاناله برخوردار هستند؛ یعنی به‌راحتی می‌توانند همگامی را از طریق حرکت‌های کوچک (مثل تکان دادن سر) انجام دهند. پس، همگامی انسان‌ها به درآوردن صدا از خود (مثل دست زدن یا خواندن) محدود نمی‌شود (توئی و یابنن، لاک و تامپسون<sup>۴</sup> ۲۰۱۰). دیگر گونه‌هایی که در طبیعت رفتار همگامی ریتمیک از خود نشان می‌دهند، فقط از طریق یک کانال به همگام‌سازی می‌پردازند (مثلاً قورباغه‌ها باهم آواز می‌خوانند یا کرم‌های شب‌تاب باهم نورافشانی می‌کنند)(گرهاردت و هابر<sup>۵</sup> ۲۰۰۲). درحالی‌که همگامی چندکاناله برای انسان‌ها بسیار ساده است. اما یک نکته دیگر درباره توانایی همگامی در انسان وجود

<sup>1</sup> Relative Phase

<sup>2</sup> Beats Per Minute

<sup>3</sup> Hanson, Case, Buck & Buck

<sup>4</sup> Toivainen, Luck & Thompson

<sup>5</sup> Gerhardt & Huber

دارد که برتری یک کانال آن را نشان می‌دهد. وقتی انسان‌ها با مترونوم شنیداری همگام می‌شوند، ضربه‌های آن‌ها دقیق‌تر از زمانی است که با مترونوم دیداری همگام می‌شوند؛ باوجوداینکه ویژگی‌های زمانی هر دو نوع مترونوم یکسان است. این نتیجه‌ای است که در طول قرن بارها در آزمایشگاه تکرار و تأیید شده است (دانلپ<sup>۱</sup> ۲۰۱۹؛ پیتل، آیورسن، چن و رپ<sup>۲</sup> ۲۰۰۵؛ هوو، فرهرست و کلر<sup>۳</sup> ۲۰۱۳).

دربارهٔ نخستین سنان غیرانسان، چنانچه سازوکارهای زیربنایی پردازش ضرب‌محور در انسان در مغز حیوانات نیز توسعه یافته باشد، انتظار می‌رود این جانوران نیز همان ویژگی‌های همگامی انسان در حین آموزش برای ضربه‌زدن همگام با ضرب موسیقیایی را نشان دهند. در مطالعهٔ اول برای آموزش میمون‌ها (با هر حیوان دیگری) برای ضربه‌زدن همراه با مترونوم، مرچنت و همکاران<sup>۴</sup> به نتایج شگفت‌انگیزی دست یافتند (۲۰۰۹: ۳۱۹۱-۳۲۰۲). درحالی‌که میمون‌های ماکاک<sup>۵</sup> در گوش دادن به ضرب‌های دو مترونوم و بازسازی همان فواصل با دو بار ضربه‌زدن بر روی یک کلید موفق عمل کردند؛ در یادگیری ضربه‌زدن همزمان با چند ضربهٔ مترونوم مشکل داشتند. البته، آموزش تکلیف ضربه‌زدن با مترونوم برای هر میمون بیش از یک سال به طول انجامید و هنگام انجام آزمون، ضربه‌های آن‌ها به‌جای اینکه همزمان با ضرب مترونوم نواخته شود، همیشه در حد چند صد میلی‌ثانیه از ضربهٔ مترونوم عقب‌تر بود. این مشاهده بیانگر آن است که رفتار میمون‌ها تحت تسلط واکنش است نه پیش‌بینی (باوجوداینکه، آن‌ها واکنش نسبتاً سریع‌تری به ضربه‌های مترونوم داشتند تا به فواصل زمانی تصادفی، که این خود تا حدودی نشان‌دهندهٔ توانایی‌های جزئی در پیش‌بینی است). میمون‌هایی که ضربه‌زدن با مترونوم را در گام‌های مختلف آموختند، انعطاف‌پذیری همزمان با گام (یعنی یادگیری ضربه‌ها در یک گام و آزمودن آن‌ها در گام دیگر) در آن‌ها آزمایش نشد. درنهایت، میمون‌ها برخلاف انسان‌ها، در تنوع ضربه‌زدن با مترونوم از طریق کانال‌های دیداری و شنیداری یکسان عمل کردند.

این‌گونه به‌نظر می‌رسد که پردازش ضرب‌محور مدل انسانی شاید برای میمون‌ها آسان نباشد. شگفت اینکه، این تفاوت‌ها از همگامی با درک کامل یک ضرب (در غیاب واکنش حرکتی) توسعه می‌یابند. این مسئله در پژوهش دیگری در آزمایشگاه مرچنت انجام شد که در آن از چند مقیاس عصبی برای آزمودن درک ضربی در میمون‌هایی که آرام نشسته بودند، استفاده شد. این پژوهش که از مطالعات

<sup>1</sup> Dunlap

<sup>2</sup> Patel, Iversen, Chen & Repp

<sup>3</sup> Hove, Fairhurst, Kotz & Keller 2013

<sup>4</sup> Merchant & et al

<sup>5</sup> macaca mulatta

پیشین بر روی انسان‌ها (وینکلر و همکاران،<sup>۱</sup> ۲۰۰۹: ۲۴۶۸-۲۴۷۱) الگوبرداری کرده بود، میمون‌ها را در برابر الگوی ریتمیک شنیداری تکرارشونده (که از ریتم مترونوم پیچیده‌تر بود؛ اما یک الگوی ضربی زیرین داشت) قرار می‌داد و در این حالت، داده‌های ای. ای. جی<sup>۲</sup> جمع‌آوری می‌شدند. برخلاف نتایج آزمون‌های انسانی با این محرک‌ها، هیچ همبسته‌ی عصبی حاصل از درک ضرب در میمون‌ها مشاهده نشد (هنینگ و همکاران،<sup>۳</sup> ۲۰۱۲). این نتایج، هنگامی‌که نتایج مشابهی را از میمون‌های بزرگ دریافت کردند، شگفت‌انگیزتر شد؛ زیرا میمون‌های بزرگ شباهت‌های بیشتری با انسان داشتند و در طبیعت وحشی با صدای طبل آشنا شده بودند (فیچ،<sup>۴</sup> ۲۰۰۶: ۱۷۳-۲۱۵). نخستین پژوهشی که هنگامی با مترونوم را از طریق کانال شنیداری در میمون‌های بزرگ گزارش کرد، اخیراً منتشر شده است. در این پژوهش سه شامپانزه برای ضربه‌زدن ریتمیک روی کیبورد آموزش دیدند و برای همگامی همزمان با مترونوم در سه گام متفاوت آزمایش شدند (هاتوری و همکاران،<sup>۴</sup> ۲۰۱۳: ۱۵۶۶). یکی از شامپانزه‌ها توانست ضربه‌های خود را با مترونوم در یک گام همگام کند اما در دو گام دیگر موفق عمل نکرد. این در صورتی بود که دو شامپانزه دیگر نتوانستند در هیچ گامی با مترونوم همگام شوند. از این رو، این احتمال می‌رود که شامپانزه‌ها توانایی همگامی پیش‌بینانه را داشته باشند (که این توانایی هنوز در میمون‌ها مشاهده نشده است)؛ اما آن‌ها هیچ نشانه‌ای از توانایی مهم انعطاف‌پذیری با گام را نشان ندادند.

ما با ارائه این مسائل در ارتباط با دیدگاه داروین در پردازش ریتمیک در حیوانات به چه نتیجه‌ای می‌رسیم؟ نخست اینکه، با روش‌ها و آموزش‌های متفاوت، نتایج متفاوتی نیز حاصل می‌شود و دیگر اینکه، همگام‌سازی مدل انسانی با مترونوم در میمون‌های دیگر نیز ممکن است. در واقع، این پژوهش‌ها ظرفیت تلاش‌های بیشتر برای انجام مطالعات در باب همگامی با ضرب شنیداری در جانوران غیرانسان را دارد. بدین معنی که، می‌توان از شیوه‌های یادگیری تکلیف و آزمون‌های متفاوت بر روی میمون‌ها استفاده کرد. به‌طور مثال، در مطالعات آینده بر روی میمون‌ها می‌توان از تکلیف‌های دستیابی (که در آن‌ها میمون‌ها یاد می‌گیرند در این کار خیره شوند) (موران و شوارتز،<sup>۵</sup> ۱۹۹۹: ۲۶۷۶-۲۶۹۲) و بتوانند صفحه آزمایش را لمس کنند)، استفاده کرد. بدین صورت که، تکلیفی طراحی شود که در آن دو دایره درخشان به‌طور متناوب بر صفحه ظاهر شوند و در موقعیت‌های ثابت در سمت راست و چپ صفحه تغییر کنند و میمون‌ها نیز باید برای استفاده از یک دست برای لمس هر دایره قبل از محو شدن آن

<sup>1</sup> Winkler & et. al

<sup>2</sup> EEG: Electroencephalography

<sup>3</sup> Honing & et. al.

<sup>4</sup> Hattori & et. al.

<sup>5</sup> Moran & Schwartz

آموزش ببینند. این تکلیف مستلزم دستیابی به حرکت‌های پیش‌بینانه (به‌جای حرکت‌های واکنشی) با هدف لمس هر دایره در حال درخشیدن بر روی صفحه است. همزمان با ناپدید شدن هر دایره می‌توان نغمه‌ای نواخت و به محض اینکه تکلیف آموخته شد، می‌توان محرک دیداری را محو کرد تا فقط محرک شنیداری عمل کند. وقتی که میمون به خوبی از عهده این تکلیف در یک گام برآمد، می‌توان انجام آزمون را به گام‌های دیگر تعمیم داد.

#### آیا پردازش ضرب‌محور منحصر به گونه‌های خاصی است؟

آیا فقط چند گونه معدود جانوری از این توانایی برخوردارند که حرکت‌های ریتمیک را با ضرب به شیوه مشابه انسان همگام کنند؟ در نوشته‌های نظری پیش‌از کار اخیر بر روی همگام‌سازی در پستانداران غیرانسان پیشنهاد دادم که مسئله ممکن است به همین صورت باشد (پیتل، ۲۰۰۶: ۹۹-۱۰۴). به‌خصوص، مطرح کردم که «فرضیه همگام‌سازی ریتمیک و یادگیری زبانی» (یا همان فرضیه یادگیری کلامی)، حاکی از آن است که توانایی همگامی با ضرب موسیقایی از تغییرات در ساختار مغز در نتیجه تکامل یادگیری کلامی پیچیده حاصل شده است. این نوع یادگیری از طریق تولید سیگنال‌های کلامی پیچیده بر مبنای تجربه شنیداری و بازخورد حسی صورت می‌گیرد. این امر شیوه نادری در طبیعت است: اغلب حیوانات (از جمله همه نخست‌سازان غیرانسان) مجموعه محدودی از صداسازی‌های غریزی دارند که می‌توانند آن را به شیوه‌های معدودی برحسب الگوهای آکوستیکی آن‌ها تغییر دهند. یادگیری کلامی تنها در سه دسته از پرندگان (پرنده‌های آوازخوان، مرغ‌های مگس‌خوار و طوطی‌ها) و چند گروه معدود از پستانداران شامل انسان، فیل‌ها، آب‌بازسانان،<sup>۱</sup> فک‌های دریایی و خفاش‌ها رخ داده است (یانیک و اسلاتر،<sup>۲</sup> ۱۹۹۷؛ نورن‌شیلد و همکاران،<sup>۳</sup> ۲۰۱۰؛ استوگر و همکاران،<sup>۴</sup> ۲۰۱۲؛ یارویس،<sup>۵</sup> ۲۰۰۴؛ شوسترمان و ریچموس،<sup>۶</sup> ۲۰۰۸؛ ریجوی و همکاران،<sup>۷</sup> ۲۰۱۲). زیست‌عصب‌شناسی یادگیری کلامی در پرندگان به شکل کامل‌تری مطالعه شده است که در آن تمام جزئیات ساختار مغز یادگیرندگان کلامی با ساختار مغز یادگیرندگان غیرکلامی (مانند جوجه‌ها و کبوترها) مقایسه شد. این مطالعه نشان داد که یادگیری کلامی با مدار عصبی خاصی مرتبط است که در مناطق پیش‌حرکتی پیشانی، هسته‌های

<sup>۱</sup> شامل نهنگ‌ها، دلفین‌ها و گرازماهی‌ها

<sup>۲</sup> Janik & Slater

<sup>۳</sup> Knörnschild & et. al.

<sup>۴</sup> Stoeger & et. al.

<sup>۵</sup> Jarvis

<sup>۶</sup> Schusterman & Reichmuth

<sup>۷</sup> Ridgway & et. al.



قاعده‌ای و اتصالات آن‌ها متمرکز شده‌است (پتکوف<sup>۱</sup> و یارویس، ۲۰۱۲). یکی از انگیزه‌های فرضیه یادگیری کلامی در پی تصویربرداری عصبی از مغز انسان نشان می‌داد که مناطق هسته‌های قاعده‌ای و پیش‌حرکتی مناطق مهمی در پردازش ضرب‌محور هستند. در واقع، تصویربرداری عصبی نشان می‌دهد که درک ضرب کامل (حتی درغیاب حرکت آشکار) مناطق هسته‌های قاعده‌ای (مانند پوسته)<sup>۲</sup> و مناطق پیش‌حرکتی میانی تا پشتی را دربر می‌گیرد (گران و روو،<sup>۳</sup> ۲۰۰۹؛ چن و همکاران،<sup>۴</sup> ۲۰۰۸) که از لحاظ کارکردی به مناطق شنیداری متصل می‌شوند (کونگ<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۳: ۴۰۱-۴۲۰). این اتصال کارکردی نقش مهمی در توانایی ما برای پیش‌بینی زمان‌بندی ضرب‌ها دارد (زاتوره و همکاران،<sup>۶</sup> ۲۰۰۷: ۵۴۷-۵۵۸؛ پیتل و آیورسن،<sup>۷</sup> ۲۰۱۴) و کلید اصلی در پردازش ضرب‌محور است. به‌طور کلی، حرکت در حین همگامی با ضرب نیازمند اتصال حرکتی-شنیداری قوی در دستگاه دارای مدل شنیداری است (مدل ذهنی فاصله‌بندی زمانی)، همان‌طور که لازمه یادگیری کلامی اتصال حرکتی-شنیداری قوی در دستگاه دارای مدل شنیداری است (صدایی که حیوان تلاش می‌کند آن را تقلید کند).

البته، حتی اگر یادگیری کلامی و همگام‌سازی با ضرب هر دو در شبکه‌های پیش‌حرکتی قاعده‌ای و شنیداری-هسته‌ها رخ دهند، این امر پیچیده‌تر از آن است که بتوانیم ادعا کنیم هر دوی این توانایی‌ها به یکدیگر مربوط‌اند؛ زیرا آن‌ها از بخش‌های متفاوتی در دستگاه حرکتی (اندام‌های گویایی در برابر سر، بدن و دست و پا) استفاده می‌کنند. از این‌رو، فرضیه یادگیری کلامی بر این اصل استوار است که تکامل یادگیری کلامی به یکپارچگی بیشتر مناطق حرکتی و شنیداری مغز منجر می‌شود تا اینکه صرفاً به اتصال مراکز کنترل حرکت کلامی و شنیداری بپردازد (فیندرز و همکاران،<sup>۸</sup> ۲۰۰۸).

اتصالاتی که در این خصوص در مغز انسان بسیار مورد توجه‌اند، اتصالات بین مناطق قشر زمانی فوقانی شنیداری و مناطق پیش‌حرکتی خلفی است که از طریق غشای آهیانه‌ای (گیبرهان،<sup>۹</sup> ۲۰۱۳: ۲۰۵-۲۲۱) به هم (شکل ۲، خط نارنجی شکنج زمانی فوقانی خلفی یا شکنج زمانی میانی را به شکنج زاویه‌دار متصل می‌کند و خط آبی کم‌رنگ شکنج زاویه‌دار را به غشای پیش‌حرکتی خلفی وصل

<sup>1</sup> Petkov

<sup>2</sup> putamen

<sup>3</sup> Grahn & Rowe

<sup>4</sup> Chen & *et al*

<sup>5</sup> Kung & *et al*

<sup>6</sup> Zatorre & *et al*

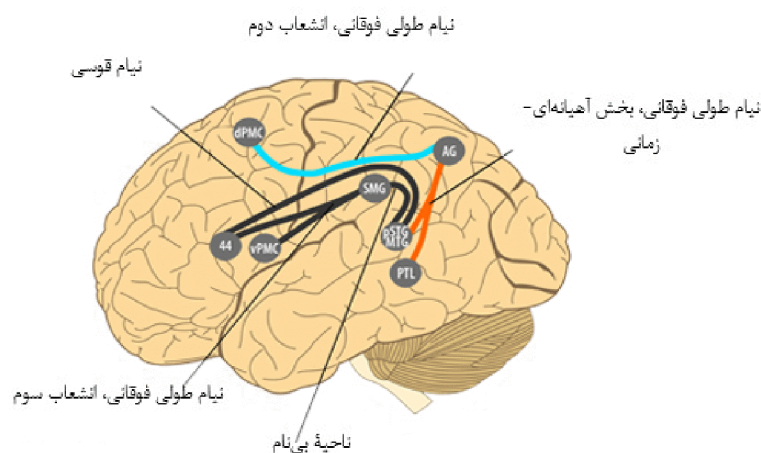
<sup>7</sup> Iversen

<sup>8</sup> Feenders & *et al*

<sup>9</sup> Gierhan

می‌کند). همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، این اتصالات بر دو انشعاب از مسیر بزرگ‌تر فیبر عصبی، معروف به نیام طولی فوقانی<sup>۱</sup> قرار می‌گیرند: به‌خصوص، بخش زمانی-آهیانه‌ای و انشعاب دوم نیام طولی فوقانی.

این اتصالات بخشی از «جریان شنوایی خلفی» هستند که مناطق شنوایی و پیش‌حرکتی را، که ظاهراً در انتقالات حسی حرکتی در گفتار و دیگر حوزه‌ها نقش دارند، به هم متصل می‌کنند (راسچکر،<sup>۲</sup> ۲۰۱۱: ۱۶-۲۵). از همه مهم‌تر اینکه، این مسیر (به‌ویژه بخش متصل‌کننده شنوایی به غشای آهیانه‌ای فوقانی، یعنی نیام طولی فوقانی) در انسان بیش‌از سایر نخستی‌سانان تحول یافته‌است (لويس و ون اسن،<sup>۳</sup> ۲۰۰۰: ۱۱۲-۱۳۷؛ شوتن و همکاران،<sup>۴</sup> ۲۰۱۲، ۸۲-۹۶). این امر می‌تواند تفاوت‌های بین انسان و سایر نخستی‌سانان را در توانایی برای همگام‌شدن با ضرب (به‌عنوان رفتار توسعه‌یافته)<sup>۵</sup> توجیه کند و این مسئله به مطالعات تطبیقی بیشتری نیازمند است.



شکل ۲: خلاصه‌ای از نمودار مناطق فیبری یا فاصله در جریان شنوایی خلفی در انسان (با کسب اجازه از گیبرهان، ۲۰۱۳: ۲۰۵-۲۲۱)

یکی از مزیت‌های فرضیه یادگیری کلامی این است که می‌توان از طریق آن پیش‌بینی‌های آزمون‌پذیر

<sup>1</sup> superior longitudinal fasciculus (SLF)

<sup>2</sup> Rauschecker

<sup>3</sup> Lewis & van Essen

<sup>4</sup> de Schotten & *et al*

<sup>5</sup> نک. به پیتل و آورسن، ۲۰۱۴.

درباره انواع حیواناتی را که مانند انسان می‌توانند یا نمی‌توانند با ضرب همگام شوند، ممکن ساخت. به‌ویژه، این فرضیه ادعا می‌کند حیواناتی که یادگیری کلامی ندارند، از این توانایی برخوردار نیستند، این پیش‌بینی تاکنون از پژوهش‌ها بر روی نخست‌سازان کنار گذاشته شده بود (اما، همان‌طور که قبلاً اشاره شد، به کار بیشتری در این خصوص نیاز است). از سوی دیگر، این امر پیش‌بینی می‌کند که یادگیرندگان کلامی از این توانایی برخوردارند. (توجه به احتمالی بودن این ادعا مهم است زیرا بر اساس این فرضیه وجود مدار عصبی مربوط به یادگیری کلامی برای همگام‌سازی به شیوه انسان ضروری است؛ اما وجود این مدار به تنهایی کفایت نمی‌کند (شاختر، ۲۰۱۰: ۲۹۰-۲۹۳؛ فیچ، ۲۰۰۹: ۴۰۳-۴۰۴؛ پیتل و همکاران، ۲۰۰۹: ۴۵۹-۴۶۹). شواهد این فرضیه از مطالعاتی به دست می‌آید که نشان می‌دهد چند گونه از طوطی‌ها می‌توانند با ضرب موسیقایی به شیوه پیش‌بینی‌پذیر، با انعطاف‌پذیری زمانی و چندکاناله‌ای همگام شوند (پیتل و همکاران، ۲۰۰۹: ۴۵۹-۴۶۹؛ شاختر و همکاران، ۲۰۰۹: ۸۳۱-۸۳۶؛ هسگاوا و همکاران،<sup>۱</sup> ۲۰۱۱: ۱۲۰). در دو مورد از این مطالعات (پیتل و همکاران، ۲۰۰۹: ۴۵۹-۴۶۹ و شاختر و همکاران، ۲۰۰۹: ۸۳۱-۸۳۶)، طوطی‌ها (که جزو حیوانات خانگی بودند) ظاهراً این رفتار را بدون هیچ‌گونه آموزش رسمی و احتمالاً فقط با مشاهده انسان‌ها (یعنی آن‌ها بدون تقلید از الگوی انسانی می‌توانند با ضرب همگام شوند) این رفتار را در خود پرورش داده‌اند. باید به این نکته توجه کرد که طوطی‌ها به‌خوبی انسان‌های بالغ نمی‌توانند با ضرب همگام شوند و «زمان‌های» کوتاهی را در همگام‌سازی با ریتم از دست می‌دهند، شاید بهتر باشد از این نظر آن‌ها را با کودک انسان مقایسه کنیم (ایرولا و همکاران،<sup>۲</sup> ۲۰۰۶: ۴۷۲-۴۷۶). از این‌رو، هنوز به کارهای بیشتری برای مقایسه مستقیم توانایی‌های همگام‌سازی طوطی‌ها با نخست‌سازان غیرانسان لازم است. در انجام چنین کارهایی، باید به این نکته توجه کرد که آیا همگام‌سازی با ضرب به‌طور همزمان رخ می‌دهد، مانند همگام‌سازی در نوع انسان (از طریق قرارگیری در معرض ریتم‌های ضرب‌محور و مدل‌های دیداری انواع دیگر همگام‌سازی)، یا در این خصوص به انجام آموزش‌های تقویتی مشهود نیاز هست. توجه به این نکته ضروری است؛ زیرا این دو شیوه متفاوت فراگیری توانایی‌های همگام‌سازی ممکن است مبین وجود سازوکارهای زیربنایی متفاوت باشند.

نکته دیگر اینکه، در انجام مطالعات بعدی لازم است این سؤال را از خود بپرسیم که آیا شباهت‌های رفتاری در همگام‌شدن با ضرب در طوطی‌ها و انسان‌ها به دلیل وجود سازوکارهای عصبی

<sup>1</sup> Hasegawa & et al

<sup>2</sup> Eerola & et al

زیربنایی مشابه صورت می‌گیرد یا دلیل این شباهت‌ها ظاهری است و بر مدارهای عصبی متفاوتی استوار است؟ فرضیه یادگیری کلامی با رویکرد اول سازگار است چون هنوز نمی‌دانیم که آیا طوطی‌ها در حیات وحش نیز به صورت بخشی از رفتارهای طبیعی خود با ضرب همگام می‌شوند؟ این فرضیه متضمن این نکته است که این توانمندی به صورت پیامد جانبی تصادفی در مدار مغزی پدیدار شده باشد که به دلایل دیگری مانند یادگیری کلامی تحول یافته است.

### شواهد موجود در دفاع از نگرش داروین

تا اینجا دو نگرش کاملاً متفاوت دربارهٔ پردازش ضرب‌محور مطرح شد: رویکرد باستانی و جنبه‌های گسترده‌ای از عملکرد مغز یا نگرشی برمبنای شبکه‌های مغزی اختصاص یافته که در زیرمجموعه‌های کوچکی از گونه‌های حیوانی مشاهده شده است. چنانچه نگرش اول درست باشد، پس بسیاری از گونه‌های حیوانی، با دریافت آموزش صحیح، می‌توانند توانایی پردازش ضرب‌محور را از خود نشان دهند. اخیراً توانایی همگام‌سازی با ضرب موسیقایی در شیردریایی کالیفرنیا<sup>۱</sup> گزارش شده است (کوک و همکاران،<sup>۲</sup> ۲۰۱۳؛ ۴۱۲-۴۲۷). مانند طوطی‌ها، هنوز نمی‌دانیم که این شیرهای دریایی در حیات وحش نیز حرکت‌های همگام‌سازی شده از خود نشان می‌دهند یا خیر. اما این شیر دریایی یاد گرفته بود تا با حرکت‌های آرام سر با ضرب شنیداری همگام شود (در شیر دریایی، برخلاف طوطی‌ها، این کار نیازمند آموزش تقویت ساختاری بود). هم‌چنین، شیر دریایی، پس از آموختن همگام‌سازی در یک گام، انعطاف‌پذیری زمانی نیز از خود نشان داد و توانست این رفتار را به گام‌های جدید تعمیم دهد. این شاهدهی نسبتاً قوی در حمایت از نگرش داروین است و خلاف فرضیه یادگیری کلامی است؛ زیرا نمی‌دانیم که این گونه از جانوران می‌توانند یادگیری کلامی داشته باشند یا خیر. با این وجود، شیرهای دریایی (از خانوادهٔ فک‌های گوش‌دار) به خانوادهٔ فک‌های واقعی (فک‌های بی‌گوش) و فیل‌های دریایی (از خانوادهٔ گرازهای دریایی) تعلق دارند و این شیرها به یادگیرندگان کلامی مشهورند (یانیک و اسلاتر، ۱۹۹۷: ۵۹-۹۹؛ شوسترمان و ریچموس، ۲۰۰۸: ۳۱۹-۳۲۷؛ شوسترمان، ۲۰۰۸: ۴۱-۷۰). بدین ترتیب، فقدان شاهدهی برای یادگیری کلامی شیرهای دریایی به معنی شاهدهی قوی بر فقدان این توانمندی در آنها یا عدم وجود سازوکارهای عصبی زیربنایی در آنها نیست. به منظور آزمایش این نگرش رایج که شیرهای دریایی از لحاظ کلامی انعطاف‌پذیری به مراتب کم‌تری را نسبت به فک‌ها نشان می‌دهند، لازم است مطالعات آموزش رفتاری بر روی انعطاف‌پذیری

<sup>1</sup> *Zalophus californianus*

<sup>2</sup> Cook & et al

کلامی در شیرهای دریایی صورت گیرد. شروع جدیدترین پژوهش‌های آزمایشگاهی بر روی انعطاف‌پذیری کلامی شیر دریایی به دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ بازمی‌گردد (شوسترمان، ۲۰۰۸: ۴۱-۷۰). بهتر است مطالعات عصبی مانند تصویربرداری عصبی ساختاری از مغز شیرهای دریایی در مقایسه با مغز فک‌های دریایی با روش تصویربرداری پخش عصبی<sup>۱</sup> که نوعی تصویربرداری تشدید مغناطیسی<sup>۲</sup> است و می‌تواند از مسیرهای ماده سفید در مغز موجودات زنده تصویربرداری کند، مورد توجه قرار گیرد. از تصویربرداری پخش عصبی می‌توان برای انجام پژوهش بر روی مغز شیر دریایی برای کشف اتصالات عصبی مرتبط با یادگیری کلامی و دیگر پیوندهایی که به‌طور بالقوه به پردازش ضرب مربوط می‌شوند (مانند انشعاب آهیانه‌ای-زمانی و دومین انشعاب نیام طولی فوقانی، شکل ۲)، استفاده کرد. به‌عنوان مثال، ممکن است شیرهای دریایی مدارهای شنیداری-حرکتی به‌ارث‌برده از جد مشترک فک‌ها، شیرهای دریایی و فیل‌های دریایی را حفظ کرده باشند (آرناسون و همکاران، ۲۰۰۶: ۳۴۵-۳۵۴)، هرچند آن‌ها هیچ نشانه آشکاری از یادگیری کلامی در قفس را از خود نشان نداده‌اند. (یکپارچه‌سازی حسی-حرکتی انعطاف‌پذیر ممکن است برای شیرهای دریایی مفید باشد زیرا آن‌ها دارای زندگی دوزیستی هستند: آن‌ها به دلیل زندگی دوزیستی خود در دو محیط کاملاً متفاوت؛ یعنی زیر آب و بیرون از آب، مجموعه متنوعی از صداسازی‌ها را تولید و درک می‌کنند) (شوسترمان و همکاران، ۱۹۶۷: ۲۱-۲۴؛ شوسترمان، ۱۹۷۸: ۲۴۷-۳۰۸؛ ریچموس و همکاران، ۲۰۱۳: ۴۹۱-۵۰۷). چنانچه کارهای آینده نشان دهند که شیرهای دریایی از انعطاف‌پذیری کلامی بسیار محدودی برخوردارند و فاقد مدار عصبی مرتبط با یادگیری کلامی هستند، این مسئله می‌تواند فرضیه یادگیری کلامی را به شدت با مشکل مواجه کند. اما این مسئله نیز می‌تواند پرسش‌های بیشتری را پیش روی ما قرار دهد مانند اینکه اگر توانایی همگام‌سازی با ضرب شنیداری به شیوه انسان به گونه‌های خاصی از جانوران محدود است، چرا فقط برخی حیوانات خاص از این توانایی برخوردارند؟

### قدم بعدی

هم‌اکنون گستره گونه‌هایی که مانند انسان از توانایی همگام‌سازی با ضرب برخوردار باشند به صورت یک سؤال بی‌جواب باقی مانده است. علاوه بر اینکه باید پژوهش‌های بیشتری بر روی طوطی‌ها و نخستین سانان غیرانسان صورت گیرد، وجود این توانایی را باید در کدام یک از حیوانات دیگر آزمود؟ در ارتباط با یادگیرندگان کلامی، کارهای بیشتری باید انجام شود تا بتوان فهمید که آیا توانایی

<sup>1</sup> diffusion tensor imaging (DTI)

<sup>2</sup> magnetic resonance imaging (MRI)

<sup>3</sup> Arnason & et al

همگام‌سازی با ضرب در همه یادگیرندگان کلامی به‌طور پنهان وجود دارد (مانند خفاش‌ها)؟ یا تنها زیرمجموعه‌ای از یادگیرندگان کلامی با ویژگی‌های اصلی دیگر از این توانایی برخوردارند؟ به‌طور مثال، طوطی‌ها می‌توانند نشانه‌های غیرکلامی را تقلید کنند و هم‌چنین موجوداتی به‌شدت اجتماعی هستند و به‌طور طبیعی تمایل دارند با شرکای اجتماعی خود حرکت‌های هماهنگ انجام دهند (مور،<sup>۱</sup> ۱۹۹۲: ۲۳۱-۲۶۳). ممکن است به همین دلیل باشد که افزون‌بر یادگیری کلامی، برای ایجاد توانمندی همگام‌سازی انسان‌مانند با ضرب، وجود دیگر ویژگی‌های آن‌ها نیز ضروری است (شاختر، ۲۰۱۰: ۲۹۰-۲۹۳؛ فیچ، ۲۰۰۹: ۴۰۳-۴۰۴؛ پیتل و همکاران، ۲۰۰۹: ۴۵۹-۴۶۹). اگر مسئله همین باشد، پس تنها یادگیرندگان کلامی با این ویژگی‌های دیگر، مانند دلفین‌ها (کونور و همکاران،<sup>۲</sup> ۲۰۰۶: ۱۳۷۱-۱۳۷۸)، می‌توانند مانند انسان با ضرب همگام شوند.

اما در ارتباط با حیوانات فاقد یادگیری کلامی، اسب اهلی<sup>۳</sup> یکی از این حیوانات موردتوجه است. حیوانی که توانایی یادگیری کلامی ندارد (برخلاف شیرهای دریایی) و دارای خویشاوندان نزدیکی که از این توانایی برخوردار باشند، نیست. در حمایت از نگرش داروین دربارهٔ ریتم موسیقایی، داستان‌هایی تمثیلی از اسب‌ها وجود دارد که آن‌ها راه‌رفتن خود را به‌طور همزمان با ضرب موسیقی همگام می‌کنند، حتی زمانی که سوارکار ندارند (سوارکارها به‌صورت غیرعمدی می‌توانستند سرنخ‌هایی برای ضرب به اسب‌ها بدهند). این مسئله آن‌ها را به مورد ایده‌نالی برای آزمایش نگرش داروین تبدیل می‌کند؛ زیرا فرضیهٔ یادگیری کلامی پیش‌بینی می‌کند که آن‌ها فاقد توانایی‌های انسان‌مانند برای همگامی با ضرب موسیقایی هستند. با استفاده از روش‌های نوین برای آزمودن همگام‌شدن با موسیقی در اسب‌ها (برگمان و همکاران،<sup>۴</sup> ۲۰۱۲: ۱۴۴-۱۵۶؛ ونه‌مان،<sup>۵</sup> ۲۰۱۲: ۱۶۰-۱۶۳؛ شاختر، ۲۰۱۲: ۴۲۷-۴۵۲)، اکنون می‌توان این پیش‌بینی را آزمود.

با برداشتن چند گام به عقب و توجه به این نگرش کلی که، مطالعات پردازش ضرب‌محور در دیگر حیوانات بخشی از پژوهش‌های اندک ولی رو به رشد مجموعه مطالعاتی بر روی گونه‌های مختلف در پردازش موسیقی است، این پژوهش‌ها در آغاز راه هستند و ادامهٔ آن‌ها بسیار ارزشمند است؛ زیرا رویکردهای تجربی برای مطالعهٔ تاریخ تحول توانمندی موسیقی در انسان را فراهم می‌کنند. به‌ویژه، این مطالعات می‌توانند به ما در شناسایی جنبه‌های پردازش شنیداری غیرزبانی که به‌طور

<sup>1</sup> Moore

<sup>2</sup> Connor & et al

<sup>3</sup> Equus ferus caballus

<sup>4</sup> Bregman & et al

<sup>5</sup> Venneman

گسترده‌ای با گونه‌های جانوری دیگر مشترک است و جنبه‌هایی که بین ما و گونه‌های جانوری اندکی مشترک است، و جنبه‌هایی که فقط مختص انسان‌هاست، کمک کند. شایان توجه است که این قبیل کارها اساساً رویکرد داروینی به این مسئله دارند بدین معنی که حتی اگر داروین درخصوص ماهیت کلی پردازش ریتم موسیقایی اشتباه کرده باشد، رویکرد مطالعه گونه‌های مختلف در مطالعات تکاملی که وی بدون شک طلایه‌دار آن محسوب می‌شود، ما را به درک عمیق‌تری از ریشه‌های زیستی موسیقی در انسان رهنمون می‌سازد.

## References

منابع و ارجاعات

- Arnason U, Gullberg A, Janke A, et al. (2006). Pinniped phylogeny and a new hypothesis for their origin and dispersal. *Mol Phylogenet Evol* 41: 345–354.
- Bregman MR, Iversen JR, Lichman D, Reinhart M, Patel AD (2012). A method for testing synchronization to a musical beat in domestic horses (*Equus ferus caballus*). *Empir Musicol Rev* 7: 144–156.
- Bregman MR, Patel AD, Gentner TQ (2012). Stimulus-dependent flexibility in non-human auditory pitch processing. *Cognition* 122: 51–60.
- Brown S, Jordania J. (2013). Universals in the world's musics. *Psychol Music* 41: 229–248.
- Buza'ki G (2006). *Rhythms of the brain*. New York: Oxford University Press.
- Chen JL, Penhune VB, Zatorre RJ (2008). Listening to musical rhythms recruits motor regions of the brain. *Cereb Cortex* 18: 2844–2854.
- Chen Q, Heston JB, Burkett ZD, White SA (2013). Expression analysis of the speech-related genes FoxP1 and FoxP2 and their relation to singing behavior in two songbird species. *J Exp Biol* 216: 3682–3692.
- Conard NJ, Malina M, Münzel SC. (2009). New flutes document the earliest musical tradition in southwestern Germany. *Nature* 460: 737–740.
- Connor RC, Smolker R, Bejder L (2006). Synchrony, social behaviour and alliance affiliation in Indian Ocean bottlenose dolphins, *Tursiops aduncus*. *Anim Behav* 72: 1371–1378.
- Cook P, Rouse A, Wilson M, Reichmuth C (2013). A California sea lion (*Zalophus californianus*) can keep the beat: motor entrainment to rhythmic auditory stimuli in a non vocal mimic. *J Comparative Psychol*. 127: 412–427.
- Darwin C (1871). *The descent of man and selection in relation to sex*. London: John Murray.
- de Schotten MT, Dell'Acqua F, Valabregue R, Catani M (2012). Monkey to human comparative anatomy of the frontal lobe association tracts. *Cortex* 48: 82–96.
- Dunlap K (1910). Reactions to rhythmic stimuli, with attempt to synchronize. *Psychol Rev* 17: 399–416.
- Eerola T, Luck G, Toiviainen P (2006). *An investigation of pre-schoolers' corporeal synchronization with music*. In: Baroni M, Addressi AR, Caterina R, Costa M, editors. Proc. of the 9th International Conference on Music Perception & Cognition (ICMPC9). Bologna, Italy: ICMPC and ESCOM. pp. 472–476.
- Feenders G, Liedvogel M, Rivas M, Zapka M, Horita H, et al. (2008). Molecular mapping of movement-associated areas in the avian brain: a motor theory for vocal learning origin. *PLoS ONE* 3: e1768. doi:10.1371/journal.pone.0001768



- Fitch W (2013). Rhythmic cognition in humans and animals: distinguishing meter and pulse perception. *Front Syst Neurosci* 7: 68. doi:10.3389/fnsys.2013.00068
- Fitch WT (2006). The biology and evolution of music: a comparative perspective. *Cognition* 100: 173–215.
- Fitch WT (2009). Biology of music: another one bites the dust. *Curr Biol* 19: R403–R404.
- Fitch WT (2012). *The biology and evolution of rhythm: unraveling a paradox*. In: Rebuschat P, Rohmeier M, Hawkins JA, Cross I, editors. Language and music as cognitive systems. Oxford: Oxford University Press. pp.73–95.
- Fitch WT, Meitthen D (2013). *Convergence and deep homology in the evolution of spoken language*. In: Bolhuis JJ, Everaert M, editors. Birdsong, speech, and language: exploring the evolution of mind and brain. Cambridge, MA: MIT Press. pp. 45–62.
- Gerhardt HC, Huber F (2002). *Acoustic communication in insects and anurans*. Chicago: University of Chicago Press.
- Gierhan SME (2013). Connections for auditory language in the human brain. *Brain Lang* 127: 205–221.
- Grahn JA, Rowe JB (2009). Feeling the beat: premotor and striatal interactions in musicians and nonmusicians during beat perception. *J Neurosci* 29: 7540–7548.
- Greenfield MD (2005). Mechanisms and evolution of communal sexual displays in arthropods and anurans. *Adv Study Behav* 35: 1–62.
- Hagmann CE, Cook RG (2010). Testing meter, rhythm, and tempo discriminations in pigeons. *Behav Processes* 85: 99–110.
- Hanson FE, Case JF, Buck E, Buck J (1971). Synchrony and flash entrainment in a New Guinea firefly. *Science* 174: 162–164.
- Hasegawa A, Okanoya K, Hasegawa T, Seki Y (2011). Rhythmic synchronization tapping to an audio-visual metronome in budgerigars. *Sci Rep* 1: 120. doi:10.1038/srep00120
- Hattori Y, Tomonaga M, Matsuzawa T (2013). Spontaneous synchronized tapping to an auditory rhythm in a chimpanzee. *Sci Rep* 3: 1566.
- Honing H, Merchant H, Ha'den GP, Prado L, Bartolo R (2012). Rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) detect rhythmic groups in music, but not the beat. *PLoS ONE* 7:e51369.
- Hove, M. J., Fairhurst, M. T., Kotz, S. A., & Keller, P. E. (2013). Synchronizing with auditory and visual rhythms: an fMRI assessment of modality differences and modality appropriateness. *Neuroimage*, 67, 313-321.

- Hulse, S. H., & Page, S. C. (1988). Toward a comparative psychology of music perception. *Music Perception*, 5(4), 427-452.
- Janik, V. M., & Slater, P. J. (1997). Vocal learning in mammals. *Advances in the Study of Behaviour*, 26(1), 59-100.
- Jarvis, E. D. (2004). Learned birdsong and the neurobiology of human language. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1016(1), 749-777.
- Jarvis ED (2013). *Evolution of brain pathways for vocal learning in birds and humans*. In: Bolhuis JJ, Everaert M, editors. *Birdsong, speech, and language: exploring the evolution of mind and brain*. Cambridge, MA: MIT Press. pp. 63–107.
- Knörnschild M, Nagy M, Metz M, Mayer F, von Helversen O (2010). Complex vocal imitation during ontogeny in a bat. *Biol Lett* 6: 156–159.
- Kung S-J, Chen JL, Zatorre RJ, Penhune VB (2013). Interacting cortical and basal ganglia networks underlying finding and tapping to the musical beat. *J Cogn Neurosci* 25: 401–420.
- Large EW (2010). Neurodynamics of music. In: Jones M, Fay RR, Popper AN, editors. *Springer handbook of auditory research, Vol. 36: music perception*. New York: Springer. pp. 201–231.
- Large EW, Snyder JS (2009). Pulse and meter as neural resonance. *Ann N Y Acad Sci* 1169: 46–57.
- Lewandowski B, Vyssotski A, Hahnloser RHR, Schmidt M (2013). At the interface of the auditory and vocal motor systems: Nif and its role in vocal processing, production and learning. *J Physiol Paris* 107: 178–192.
- Lewis JW, van Essen DC (2000). Corticocortical connections of visual, sensorimotor, and multimodal processing areas in the parietal lobe of the macaque monkey. *J Comp Neurol* 428: 112–137.
- McDermott JH, Hauser MD (2004). Are consonant intervals music to their ears? Spontaneous acoustic preferences in a nonhuman primate. *Cognition* 94: B11–B21.
- McDermott JH, Hauser MD (2007). Nonhuman primates prefer slow tempos but dislike music overall. *Cognition* 104: 654–668. 69. Brooks DI, Cook RG (2010) Chord discrimination by pigeons. *Music Percept* 27: 183–196.
- McNeill W (1995). *Keeping together in time: dance and drill in human history*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Merchant H, Honing H (2013) Are non-human primates capable of rhythmic entrainment? Evidence for the gradual audiomotor evolution hypothesis. *Front Psychol* 7: 274. doi:10.3389/fnins.2013.00274
- Mirollo RE, Strogatz SH (1990) Synchronization of pulse-coupled biological oscillators. *SIAM J Appl Math* 50: 1645–1662.

- Moore BR (1992) Avian movement imitation and a new form of mimicry: tracing the evolution of a complex form of learning. *Behaviour* 122: 231–263.
- Moran DW, Schwartz AB (1999) Motor cortical representation of speed and direction during reaching. *J Neurophysiol* 82: 2676–2692.
- Morley I (2013). *The prehistory of music*. Oxford: Oxford University Press.
- Nettl B (2000). An ethnomusicologist contemplates universals in musical sound and musical culture. In: Wallin NL, Merker B, Brown S, editors. *The origins of music*. Cambridge, MA: MIT Press. pp. 463–472.
- Nettl B, Stone R. (1998). *The Garland encyclopedia of world music* (10 vols). New York: Garland Publications.
- Nottebohm F (1976) Phonation in the orange-winged Amazon parrot, *Amazona amazonica*. *J Comp Physiol A* 108: 157–170.
- Page SC, Hulse SH, Cynx J (1989) Relative pitch perception in the European starling (*Sturnus vulgaris*): further evidence for an elusive phenomenon. *J Exp Psychol Anim Behav* 15: 137–146.
- Patel AD (2006) Musical rhythm, linguistic rhythm, and human evolution. *Music Percept* 24: 99–104.
- Patel AD (2008) *Music, language, and the brain*. New York: Oxford University Press.
- Patel, A. D., & Demorest, S. M. (2013). 16-Comparative Music Cognition: Cross-Species and Cross-Cultural Studies. *The psychology of music*.
- Patel, A. D., & Iversen, J. R. (2014). The evolutionary neuroscience of musical beat perception: the Action Simulation for Auditory Prediction (ASAP) hypothesis. *Frontiers in systems neuroscience*, 8, 57.
- Patel AD, Iversen JR, Bregman MR, Schulz I (2009) Experimental evidence for synchronization to a musical beat in a nonhuman animal. *Curr Biol* 19: 827–830.
- Patel AD, Iversen JR, Bregman MR, Schulz I (2009) Studying synchronization to a musical beat in nonhuman animals. *Ann New York Acad Sci* 1169: 459–469.
- Patel AD, Iversen JR, Chen Y, Repp BH (2005) The influence of metricality and modality on synchronization with a beat. *Exp Brain Res* 163: 226–238.
- Petkov CI, Jarvis ED (2012) Birds, primates, and spoken language origins: behavioral phenotypes and neurobiological substrates. *Front Evol Neurosci* 4: 12. doi:10.3389/fnevo.2012.00012
- Rauschecker JP (2011) An expanded role for the dorsal auditory pathway in sensorimotor control and integration. *Hear Res* 271: 16–25.
- Reichmuth C, Holt MM, Muslow J, Sills JM, Southall BL (2013) Comparative assessment of amphibious hearing in pinnipeds. *J Comp Physiol A* 199: 491–507.

- Repp BH (2005) Sensorimotor synchronization: a review of the tapping literature. *Psychon Bull Rev* 12: 969–992.
- Repp BH, Su Y-H (2013) Sensorimotor synchronization: a review of recent research (2006–2012). *Psychonomic Bull Rev* 20: 403–452.
- Ridgway S, Carder D, Jeffries M, Todd M (2012) Spontaneous human speech mimicry by a cetacean. *Curr Biol* 22: R860–R861.
- Schachner A (2010) Auditory-motor entrainment in vocal mimicking species: additional ontogenetic and phylogenetic factors. *Commun Integr Biol* 3: 290–293.
- Schachner A (2012) If horses entrain, don't entirely reject vocal learning: an experience-based vocal learning hypothesis. *Empir Musicol Rev* 7: 157–159.
- Schachner A, Brady TF, Pepperberg IM, Hauser MD (2009) Spontaneous motor entrainment to music in multiple vocal mimicking species. *Curr Biol* 19:831–836.
- Schusterman RJ (1978) Vocal communication in pinnipeds. In: Markowitz H, Stevens VJ, editors. *Behavior of captive wild animals*. Chicago: Nelson Hall. pp. 247–308.
- Schusterman RJ (2008) *Vocal learning in mammals with special emphasis on pinnipeds*. In: Oller DK, Gribel T, editors. *The evolution of communicative flexibility: complexity, creativity, and adaptability in human and animal communication*. Cambridge, MA: MIT Press. pp. 41–70.
- Schusterman RJ, Gentry R, Schmook J (1967) Underwater sound production by captive California sea lions, *Zalophus californianus*. *Zoologica* 52: 21–24.
- Schusterman RJ, Reichmuth CJ (2008) Novel sound production via contingency learning in the Pacific walrus (*Odobenus rosmarus divergens*). *Anim Cog* 11: 319–327.
- Selezneva E, Deike S, Knyazeva S, Scheich H, Brechmann A, et al. (2013) Rhythm sensitivity in macaque monkeys. *Front Syst Neurosci* 7:49. doi:10.3389/fnsys.2013.00049
- Snowdon CT, Teie D (2010) Affective responses in tamarins elicited by species-specific music. *Biol Lett* 6: 30–32.
- Stoeger AS, Mietchen D, Oh S, de Silva S, Herbst CT, et al. (2012) An Asian elephant imitates human speech. *Curr Biol* 22: 2144–2148.
- Tierney AT, Russo FA, Patel AD (2011) The motor origins of human and avian song structure. *Proc Natl Acad Sci U S A* 108: 15510–15515.
- Toiviainen T, Luck G, Thompson R (2010) Embodied meter: hierarchical eigenmodes in music-induced movement. *Music Percept* 28: 59–70.

- Venneman SS (2012) A commentary on Micah Bregman et al.: a method for testing synchronization to a musical beat in domestic horses (*Equus ferus caballus*). *Empir Musicol Rev* 7: 160–163.
- Winkler I, Ha'den G, Ladinig O, Sziller I, Honing H (2009) Newborn infants detect the beat in music. *Proc Natl Acad Sci U S A* 106: 2468–2471.
- Wright AA, Rivera JJ, Hulse SH, Shyan M, Neiworth JJ (2000) Music perception and octave generalization in rhesus monkeys. *J Exp Psychol Gen* 129: 291–307.
- Yin P, Fritz JB, Shamma SA (2010) Do ferrets perceive relative pitch? *J Acoust Soc Am* 127: 1673–1680.
- Zarco w, Merchant H, Prado L, Mendez JC (2009) Subsecond timing in primates: comparison of interval production between human subjects and rhesus monkeys. *J Neurophysiol* 102: 3191–3202.
- Zatorre RJ, Chen JL, Penhune VB (2007) When the brain plays music: auditorymotor interactions in music perception and production. *Nat Rev Neurosci* 8: 547–558.

**HOW TO CITE THIS ARTICLE**

Patel A. & Nouramee M. (2022). The Evolutionary Biology of Musical Rhythm: Was Darwin Wrong?. *Language Art*, 7(4):7-28, Shiraz, Iran. [in Persian]

**DOI:** 10.22046/LA.2022.19

**URL:** <https://www.languageart.ir/index.php/LA/article/view/313>





## TRANSLATED PAPER

### The Evolutionary Biology of Musical Rhythm: Was Darwin Wrong?<sup>1</sup>

**Aniruddh Patel**<sup>2</sup>©

PhD, Organismic and Evolutionary Biology, Harvard University,  
Cambridge, United States.



**Maryam Nournamaee**<sup>3</sup>

PhD Student in Linguistics, Department of Linguistics, Literature  
Faculty, Alzahra University, Tehran, Vanak, Iran.



(Received: 2 June 2022; Accepted: 7 October 2022; Published: 30 November 2022)

In *The Descent of Man*, Darwin speculated that our capacity for musical rhythm reflects basic aspects of brain function broadly shared among animals. Although this remains an appealing idea, it is being challenged by modern cross-species research. This research hints that our capacity to synchronize to a beat, i.e., to move in time with a perceived pulse in a manner that is predictive and flexible across a broad range of tempi, may be shared by only a few other species. Is this really the case? If so, it would have important implications for our understanding of the evolution of human musicality.

**Keywords:** The Evolution of Music, Rhythm, Beat-Based Processing, Neural Resonance, Vocal Learning Hypothesis, Darwin, Evolutional Biology.

<sup>1</sup> This paper has been published by Patel AD (2014) *The Evolutionary Biology of Musical Rhythm: Was Darwin Wrong?* PLoS Biol 12(3): e1001821. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001821> in English and now translated to Persian by Maryam Nournamaee.

<sup>2</sup>E-mail: a.patel@tufts.edu © (Corresponding Author)

<sup>3</sup>E-mail: ma.namaee@yahoo.com