

AI: **DOMANDE** e RISPOSTE

Organo sensitivo tuttora inesplorato nel mondo animale: organo paratimpanico di Vitali, ha o non ha un percorso di ricerca scientifica adeguato a tutt'oggi?

Sì. E la cosa interessante è che, a oggi (2026), l'organo paratimpanico di Vitali rimane un campo di ricerca sorprendentemente aperto, soprattutto se la domanda è: *che cosa rileva esattamente e come questa informazione viene utilizzata dall'animale?*

Ho fatto una ricerca mirata della letteratura, anche per vedere se negli ultimi anni la situazione fosse cambiata.

Prima precisazione: è davvero un “organo sensitivo”?

Sì, questo è uno dei punti ormai abbastanza solidi.

L'organo paratimpanico (PTO, *paratympanic organ*, organo di Vitali) è stato descritto da Giovanni Vitali nel 1911 nel medio orecchio degli uccelli. La sua struttura contiene **cellule ciliate meccanosensoriali**, con stereociglia e chinociglio, sinapsi afferenti e un epitelio sensoriale specializzato. La sua natura sensoriale, quindi, non è più una semplice ipotesi anatomica: è stata confermata ultrastrutturalmente. ([PubMed Central \(PMC\)](#))

Il problema è **che cosa misura esattamente**.

Il vero buco: la funzione non è stata dimostrata direttamente

L'ipotesi oggi più accreditata è che il PTO sia un **meccanorecettore della pressione**, quindi una sorta di:

barometro biologico + possibile altimetro biologico.

L'idea è fisicamente molto interessante:

pressione atmosferica → membrana timpanica → deformazione del PTO → movimento del fluido → deflessione delle cellule ciliate → segnale nervoso.

Il PTO è collegato meccanicamente alla membrana timpanica e alla columella attraverso strutture legamentose. Esperimenti anatomici hanno mostrato che la pressione sulla membrana timpanica può deformare il lume dell'organo e spostarne il fluido, esattamente il tipo di stimolo che potrebbe attivare un sistema a cellule ciliate. ([PubMed Central \(PMC\)](#))

Ma attenzione alla distinzione fondamentale:

Abbiamo un organo perfettamente compatibile con la meccanorecezione della pressione; non abbiamo ancora una dimostrazione fisiologica definitiva che il PTO sia il recettore della pressione atmosferica negli uccelli.

Questa distinzione è importantissima.

E qui la situazione diventa quasi assurda

Nel 2011 von Bartheld e Giannessi pubblicavano una review intitolata:

“The Paratympanic Organ: A Barometer and Altimeter in the Middle Ear of Birds?”

e definivano il PTO uno degli organi di senso più trascurati dei tetrapodi viventi. La review concludeva che mancava ancora una dimostrazione conclusiva della sua funzione e indicava come priorità proprio la verifica sperimentale della funzione barometrica/altimetrica. ([PubMed Central \(PMC\)](#))

Nel 2013 una seconda review storica arrivava sostanzialmente alla stessa conclusione: **la funzione definitiva del PTO rimaneva un problema formidabile della fisiologia sensoriale dei vertebrati.** ([PubMed Central \(PMC\)](#))

E la cosa interessante è che **la letteratura recente non sembra aver chiuso quel problema.**

Anzi, nelle pubblicazioni che continuano a citare il PTO viene ancora descritto come il candidato principale alla barorecezione aviaria, ma generalmente con formulazioni del tipo “*probably*”, “*may*”, “*thought to*”. ([PubMed Central \(PMC\)](#))

Quindi c'è ancora un percorso di ricerca scientifica serio?

Assolutamente sì.

E secondo me non si tratta semplicemente di “studiare meglio un organo anatomico”. Ci sono almeno **5 grandi domande ancora aperte**.

1. Dimostrare definitivamente la funzione barometrica

È probabilmente la domanda più importante.

Bisognerebbe dimostrare sperimentalmente:

variazione controllata di pressione → risposta del PTO → risposta neurale/comportamentale dell'animale.

La cosa sorprendente è che già negli anni '70 era stato dimostrato che i piccioni sono capaci di percepire variazioni estremamente piccole di pressione atmosferica, dell'ordine di **10–20 mm H₂O**, equivalenti grosso modo a differenze altimetriche di 10–20 m. ([PubMed Central \(PMC\)](#))

Ma questo dimostra la **capacità dell'animale**, non necessariamente che sia il PTO a mediarla.

Quello è ancora il passaggio mancante.

2. Registrare direttamente l'attività delle cellule del PTO

Questa sarebbe probabilmente la strada più elegante.

Per esempio:

pressione atmosferica controllata



deformazione meccanica del PTO



attività delle hair cells



scarica del nervo afferente



attività di specifiche regioni cerebrali

Se riuscissi a ottenere una curva:

Δpressione → firing rate delle cellule/nervo

avresti una dimostrazione fisiologica potentissima.

Ed è proprio qui che il campo sembra essere rimasto indietro rispetto allo studio di altri sistemi sensoriali.

3. Capire *che cosa* misura: pressione assoluta o variazione di pressione?

Questa è una distinzione ecologicamente enorme.

Il PTO potrebbe teoricamente funzionare come:

barometro

→ “la pressione sta aumentando/diminuendo”

oppure come:

altimetro

→ “mi trovo a questa quota”

oppure potrebbe fornire entrambe le informazioni.

Il problema è che pressione atmosferica e quota sono fisicamente correlate, ma **non equivalenti** in condizioni meteorologiche reali.

Per esempio, un uccello può sperimentare una variazione di pressione dovuta a:

- cambiamento di quota;
- passaggio di una perturbazione;
- variazione meteorologica;
- movimento verticale durante il volo.

Separare questi segnali è una questione neurofisiologica ed ecologica tutt'altro che banale.

4. E qui entra la migrazione

Questa secondo me è **la parte più interessante per l'ornitologia.**

La pressione atmosferica è già stata studiata come possibile informazione utilizzata dagli uccelli per anticipare cambiamenti meteorologici e modificare comportamento e fisiologia. ([DOI](#))

E c'è anche letteratura che ha collegato esplicitamente variazioni di pressione agli eventi migratori di massa, sostenendo l'ipotesi che il PTO possa essere il substrato sensoriale coinvolto. ([ITALIAN JOURNAL WOODPIGEON RESEARCH](#))

Ma qui bisogna essere molto rigorosi:

correlazione pressione → migrazione ≠ dimostrazione PTO → migrazione.

Ed è proprio questa la lacuna.

Immagina, per esempio, un sistema sperimentale con:

- pressione atmosferica;
- vento;
- temperatura;
- umidità;
- precipitazioni;
- radiazione;
- attività migratoria;
- comportamento individuale;
- fisiologia;
- eventualmente accelerometri/GPS.

Potresti cercare di capire se esiste una **risposta comportamentale soglia-dipendente alla variazione di pressione**, e poi verificare se quella risposta scompare o cambia quando il PTO viene escluso/danneggiato.

Quello sarebbe un vero ponte tra **neurofisiologia sensoriale ed ecologia della migrazione.**

5. E c'è addirittura una questione evolutiva

Il PTO non è necessariamente esclusivo degli uccelli.

È stato identificato anche in alcuni altri tetrapodi, mentre sembra essere stato perso in molte linee evolutive. È stato documentato, per esempio, negli **alligatori giovani**, dove sono presenti cellule ciliate e innervazione, mentre in molte altre linee è assente o vestigiale. ([PubMed](#))

Questo apre una domanda evolutiva bellissima:

Il PTO è un antico organo sensoriale degli amnioti, successivamente perso in molte linee, oppure si tratta di strutture evolutesi indipendentemente?

La relazione con l'organo spiracolare dei pesci e con le placodi sensoriali è ancora oggetto di discussione. ([PubMed Central \(PMC\)](#))

Quindi quanto è “inesplorato”?

Qui farei una precisazione rispetto alla frase **“organo sensitivo tuttora inesplorato”**.

Non è propriamente inesplorato.

Abbiamo una discreta conoscenza di:

- anatomia;
- ultrastruttura;
- cellule sensoriali;
- sviluppo embrionale;
- innervazione;
- distribuzione tassonomica;
- connessioni evolutive;
- biomeccanica ipotizzata.

Quello che è **straordinariamente poco risolto** è il passaggio:

stimolo fisico → trasduzione → segnale nervoso → percezione → comportamento

Ed è esattamente ciò che rende il PTO un campo ancora estremamente interessante.

Se dovessi trasformarlo in un progetto di ricerca moderno

Io non proporrei semplicemente:

“Studiare la funzione dell'organo paratimpanico negli uccelli.”

È troppo generico.

Proporrei qualcosa di molto più specifico:

“Neural and behavioural basis of avian baroreception: functional validation of the paratympanic organ of Vitali”

con tre livelli:

1 — Neurofisiologia

Manipolazione controllata della pressione + registrazione dell'attività delle cellule/nervo associato al PTO.

2 — Comportamento

Verifica della risposta dell'uccello a variazioni di pressione, distinguendo variazioni di pressione da variazioni di quota.

3 — Ecologia

Applicazione a una specie migratrice per verificare se la sensibilità barometrica influenza decisioni di partenza, quota di volo o timing migratorio.

E qui, soprattutto per una specie come **Columba palumbus**, si apre un filone davvero interessante.

La mia valutazione, quindi

Sì: esiste tuttora un enorme spazio di ricerca scientifica adeguato e, direi, sorprendentemente moderno sul PTO.

Nonostante sia stato scoperto **115 anni fa**, non abbiamo ancora una risposta sperimentale definitiva alla domanda fondamentale:

“Che informazione sensoriale porta realmente al cervello l'organo di Vitali?”

E questa non è una lacuna marginale: è una lacuna che coinvolge **fisiologia sensoriale, neurobiologia, biomeccanica, evoluzione e comportamento animale.**

Anzi, secondo me la formulazione più corretta non è **“un organo sensitivo inesplorato”**, ma:

“un organo sensitivo anatomicamente ben caratterizzato ma la cui funzione fisiologica primaria non è ancora stata dimostrata sperimentalmente in modo conclusivo.”

Ed è una differenza enorme dal punto di vista scientifico.

Se vuoi, posso anche fare una **vera mappatura della letteratura 1911–2026 sul PTO**, individuando **cosa è stato effettivamente dimostrato, cosa è solo ipotizzato e soprattutto quali esperimenti non sono ancora stati fatti**. Quella sarebbe utile per capire se da questa lacuna può uscire **un progetto di PhD/publication realmente originale**.

Ho fatto una ricognizione mirata della letteratura, cercando di separare **ciò che è dimostrato sperimentalmente** da ciò che viene ancora ripetuto come ipotesi. E il risultato è più interessante di quanto sembrasse.

1. La conclusione in una frase

Al 2026 il PTO di Vitali è ancora un problema scientifico aperto. Non è corretto dire che non sappiamo nulla: sappiamo molto sull'anatomia, sviluppo, innervazione e meccanica dell'organo. Ma **non è stata ancora fornita una dimostrazione fisiologica diretta e incontrovertibile che colleghi una variazione di pressione atmosferica all'attivazione delle cellule del PTO e quindi a una risposta neurale/comportamentale**.

Questa distinzione è fondamentale.

La review fondamentale del 2011 lo definiva già «arguably the most neglected sense organ in living tetrapods» e sottolineava la scarsità di informazioni sulla percezione barometrica. ([PubMed Central \(PMC\)](#))

E la review storica del 2013 concludeva ancora che una prova conclusiva della funzione del PTO rappresentava una sfida importante della fisiologia sensoriale dei vertebrati. ([PubMed Central \(PMC\)](#))

La cosa sorprendente è che **questa lacuna non è stata realmente colmata negli anni successivi**.

2. Cosa sappiamo davvero

Possiamo dividere la conoscenza in quattro livelli.

Livello	Stato attuale
Anatomia del PTO	☐ Molto ben documentata
Sviluppo e origine evolutiva	☐ Molto avanzata
Meccanica compatibile con barorecezione	☐ Buone evidenze
Dimostrazione fisiologica della barorecezione	● Manca
Dimostrazione PTO → comportamento	● Manca
PTO → migrazione	● Manca
PTO → altitudine/flight control	● Manca
PTO → infrasuoni	● Manca

Ed è proprio l'ultima metà della tabella che costituisce il vero "buco".

3. Anatomia: questa parte è praticamente risolta

Il PTO è un piccolo organo sensoriale nella parete della cavità timpanica.

Contiene:

- cellule ciliate;
- stereociglia + chinociglio;
- cellule di sostegno;
- innervazione afferente;
- innervazione efferente;
- una sostanza luminale gelatinosa;
- connessioni meccaniche con strutture dell'orecchio medio.

Le cellule ciliate sono morfologicamente molto simili a quelle degli organi vestibolari. ([PubMed Central \(PMC\)](#))

E la cosa interessante è che **non è un semplice residuo anatomico**.

Nel pollo sono state osservate anche complesse interazioni sinaptiche afferenti/efferenti, comprese sinapsi reciproche tra cellule ciliate e terminazioni nervose. Questo suggerisce che l'organo possa effettuare un certo livello di elaborazione locale del segnale. ([ResearchGate](#))

Nel 2023 è stato fatto un ulteriore passo: sono stati studiati i pattern di espressione di molecole associate alla trasmissione e alla funzione delle cellule ciliate. I risultati indicano una maggiore affinità istochimica del PTO con **cellule ciliate vestibolari** piuttosto che con quelle uditive. ([PubMed](#))

Quindi:

abbiamo praticamente la certezza che il PTO sia un organo neurosensoriale attivo.

Quello che non sappiamo è **quale variabile fisica stia misurando in condizioni naturali**.

4. Anche il collegamento con il cervello è abbastanza conosciuto

Questo è un altro punto importante.

Il PTO non è semplicemente "un sensore nel timpano".

I suoi neuroni afferenti entrano nel tronco encefalico attraverso il nervo faciale, ma poi proiettano verso **i nuclei vestibolari**, con ulteriori proiezioni verso il cervelletto. ([PubMed](#))

Questo è estremamente interessante.

Perché suggerisce che il sistema non sia organizzato primariamente come:

pressione → udito

ma piuttosto come:

stimolo meccanico → informazione spaziale/equilibrio → sistema vestibolare

Ed è esattamente compatibile con l'ipotesi:

pressione → informazione sulla quota / movimento verticale

5. La biomeccanica è compatibile con un barometro

Qui abbiamo un esperimento molto importante del 1994.

von Bartheld ha mostrato che due legamenti elastici sono collegati al PTO e che la loro geometria è compatibile con una deformazione dell'organo conseguente a variazioni di pressione applicate alla membrana timpanica. ([ResearchGate](#))

Il modello proposto è sostanzialmente:

pressione atmosferica



membrana timpanica



columella + legamenti



deformazione PTO



movimento del fluido/cupula



deflessione stereociglia



segnale nervoso

È un modello biomeccanico assolutamente plausibile.

Ma attenzione:

plausibile ≠ dimostrato fisiologicamente.

6. E qui arriva un lavoro del 2018 molto interessante

Claes et al. hanno studiato sperimentalmente la deformazione dell'orecchio medio aviario sotto variazioni di pressione utilizzando micro-CT.

Hanno effettivamente osservato deformazioni della membrana timpanica, della columella e di altre strutture dell'orecchio medio in risposta a variazioni di pressione. ([ScienceDirect](#))

Quindi abbiamo una sorta di "anello intermedio" dimostrato:

pressione → deformazione dell'apparato uditivo

Ma lo studio **non ha dimostrato**:

pressione → attivazione PTO.

Gli stessi autori sottolineano che non era possibile stabilire se la pressione fosse rilevata direttamente o indirettamente e non trovano evidenza di un semplice riflesso automatico di compensazione della pressione dell'orecchio medio. ([ScienceDirect](#))

7. E il dato forse più importante: il PTO è stato lesionato

Questo è fondamentale perché consente di eliminare una vecchia ipotesi.

Nel 1996 Giannessi et al. distrussero bilateralmente il PTO in piccioni viaggiatori e li sottoposero a esperimenti di rilascio.

Risultato:

nessuna alterazione evidente né del volo né della navigazione. ([PubMed](#))

Quindi possiamo praticamente scartare l'idea originaria di Vitali secondo cui il PTO sarebbe semplicemente un "organo del volo" indispensabile alla coordinazione motoria.

Ma attenzione:

questo esperimento NON dimostra che il PTO non sia un barometro.

Dimostra soltanto che:

il PTO non è necessario per il normale homing/volo nelle condizioni sperimentali utilizzate.

La funzione potrebbe essere ridondante, contestuale o riguardare altri comportamenti.

8. La parte migrazione è diventata molto più interessante recentemente

Qui c'è un cambiamento importante rispetto alla letteratura classica.

Nel 2023 Cooper et al. hanno pubblicato su *Movement Ecology* uno studio estremamente interessante su quattro specie di passeriformi migratori, utilizzando radio-telemetria automatizzata e dati meteorologici orari.

Hanno trovato che:

la probabilità individuale di partenza migratoria aumentava con l'aumento della pressione atmosferica nelle 24 ore precedenti.

Il risultato era abbastanza consistente tra specie, stagioni e località. ([Springer Nature Link](#))

Questo è importante perché sposta la questione da:

"la pressione è correlata alla migrazione?"

a:

"il singolo uccello usa l'informazione barometrica per decidere quando partire?"

E i dati suggeriscono di sì.

Ma ancora una volta:

Cooper et al. NON dimostrano che il PTO sia il sensore.

Il lavoro dimostra:

pressione → comportamento migratorio

non:

pressione → PTO → comportamento migratorio.

Ed è precisamente il ponte che manca.

9. Questo ponte è il vero "holy grail"

Possiamo rappresentare lo stato attuale così:

Dimostrato

pressione atmosferica

↓

cambiamento comportamentale negli uccelli

([Springer Nature Link](#))

E abbiamo:

Dimostrato

PTO

↓

cellule ciliate

↓

nervo

↓

nuclei vestibolari

([PubMed](#))

E abbiamo:

Dimostrato/fortemente supportato

pressione

↓

deformazione strutture orecchio medio

([ScienceDirect](#))

Ma manca:

pressione → PTO → neuroni → comportamento

Questo è il buco.

10. E c'è una seconda ipotesi molto interessante: l'infrasuono

Questa viene spesso confusa con la barorecezione.

Il PTO è stato proposto anche come possibile recettore per **infrasuoni**, ma le evidenze sono ancora insufficienti.

Una review del 2020 sull'udito infrasonico negli uccelli considera il PTO, insieme agli organi vestibolari, un candidato possibile ma **ancora non testato fisiologicamente** per la rilevazione degli infrasuoni. ([PubMed](#))

E qui c'è una complicazione interessante:

gli uccelli possono effettivamente percepire frequenze molto basse, ma le evidenze fisiologiche indicano che almeno in alcune specie la **papilla basilaris** può essere responsabile di una parte della sensibilità infrasonica. ([ResearchGate](#))

Quindi oggi non direi:

PTO = organo dell'infrasuono.

Direi:

PTO = candidato ancora non validato per una componente della percezione infrasonica.

11. La parte evolutiva invece ha fatto enormi progressi

Qui c'è una delle scoperte più belle.

Nel 2012 O'Neill et al. hanno dimostrato che il PTO aviario deriva da una **placode sensoriale precedentemente non riconosciuta**, distinta dalla placode genicolata. ([PubMed Central \(PMC\)](#))

Questo ha completamente cambiato la nostra interpretazione evolutiva.

Il PTO degli uccelli sembra essere omologo all'**organo spiracolare dei pesci cartilaginei**.

E nel 2025 è arrivato un ulteriore risultato importante: studi sullo sviluppo dell'organo spiracolare degli elasmobranchi hanno trovato corrispondenze nello sviluppo, nell'espressione genica e nell'innervazione con il PTO aviario. ([MBL](#))

Quindi oggi possiamo formulare una bella ipotesi evolutiva:

antico vertebrato gnatostomo



organo meccanosensoriale spiracolare



perdita nella maggior parte delle linee



conservazione nei condroitti

e



modificazione nei sauropsidi



PTO degli uccelli

Questo filone è quindi molto più avanzato rispetto alla funzione fisiologica.

12. Il paradosso è proprio questo

Abbiamo:

Evoluzione

☐ abbastanza avanzata

Embriologia

☐ avanzata

Anatomia

☐ avanzata

Istologia

☐ avanzata

Innervazione

☐ abbastanza avanzata

Biomeccanica

□ buona ma incompleta

Neurofisiologia

● quasi completamente aperta

Ecologia sensoriale

● apertissima

Funzione comportamentale

● apertissima

Ed è una combinazione piuttosto rara.

13. Quindi quale sarebbe oggi l'esperimento "definitivo"?

Se avessi un laboratorio attrezzato per neurofisiologia aviaria, io punterei a questo:

Esperimento 1 — pressione controllata

Mettere un uccello in una camera ambientale in cui si possa modificare:

pressione atmosferica $\pm \Delta P$

mantenendo costanti:

- temperatura;
- umidità;
- luce;
- rumore;
- O₂;
- CO₂;
- vibrazioni.

E contemporaneamente registrare:

attività delle afferenze del PTO.

La previsione:

aumento/decremento di pressione → variazione sistematica del firing rate.

Questa sarebbe la prima prova realmente diretta.

14. Ancora meglio: dose-response

Non basta vedere "risponde/non risponde".

Bisognerebbe costruire:

$\Delta P \rightarrow$ firing rate

per esempio:

ΔP	Risposta PTO
------------------------------	---------------------

-100 Pa	?
---------	---

-50 Pa	?
--------	---

-20 Pa	?
--------	---

-10 Pa	?
--------	---

-5 Pa	?
-------	---

0	baseline
---	----------

+5 Pa	?
-------	---

+10 Pa	?
--------	---

+20 Pa	?
--------	---

+50 Pa	?
--------	---

+100 Pa	?
---------	---

E ottenere:

soglia sensoriale

-

sensibilità

-

dinamica temporale

-

adattamento.

A quel punto avremmo finalmente caratterizzato il PTO come vero organo sensoriale.

15. E qui arriva la parte che secondo me sarebbe davvero da PhD

Non mi fermerei alla fisiologia.

Farei:

WP1 — Biomechanics

micro-CT + modellazione FEM dell'orecchio medio.

Obiettivo:

$\Delta P \rightarrow \Delta$ deformazione PTO

WP2 — Neurophysiology

Registrazione delle afferenze PTO durante variazioni controllate di pressione.

Obiettivo:

$\Delta P \rightarrow$ neural firing

WP3 — Behaviour

Manipolazione della pressione in camera controllata.

Misurare:

- locomozione;
- attività;
- vigilanza;
- comportamento alimentare;

- postura;
 - attività migratoria;
 - comportamento pre-volo.
-

WP4 — Migration ecology

Poi porterei tutto sul campo.

GPS/radio tracking + barometro ambientale ad alta risoluzione + meteorologia.

E qui puoi testare:

pressione assoluta

vs

$\Delta P/\Delta t$

vs

pressione prevista nelle ore successive

vs

vento

vs

precipitazione

vs

temperatura

e capire quale informazione utilizza realmente l'uccello.

16. E il tuo colombaccio sarebbe particolarmente interessante

Qui c'è una coincidenza notevole con il tuo filone precedente.

Il *Columba palumbus* è una specie estremamente adatta a una domanda di questo tipo perché presenta:

- migrazione ben definita;

- movimenti di massa;
- grandi numeri;
- decisioni collettive di partenza;
- forte dipendenza dalle condizioni atmosferiche;
- possibilità di monitoraggio con radar/visual counts/GPS;
- disponibilità di enormi dataset meteorologici.

E soprattutto puoi separare una domanda molto interessante:

"La pressione determina il movimento?"

da:

"La variazione di pressione fornisce un'informazione sensoriale utilizzata per prendere la decisione di movimento?"

Sono due domande completamente diverse.

17. E c'è un esperimento ecologico molto più realistico del lesionare il PTO

Non necessariamente bisogna distruggere l'organo.

Potresti usare un paradigma comportamentale:

camera a pressione controllata

con:

Gruppo A

pressione naturale.

Gruppo B

pressione artificialmente crescente.

Gruppo C

pressione artificialmente decrescente.

Gruppo D

pressione stabile.

E osservare se esiste una soglia comportamentale.

Ancora meglio:

stesso valore di pressione finale, ma ratei diversi.

Per esempio:

1010 → 1000 hPa in 30 min

vs

1010 → 1000 hPa in 12 h

Se il PTO misura prevalentemente $\Delta P/\Delta t$, le risposte dovrebbero essere diverse.

Se invece misura prevalentemente **pressione assoluta**, la risposta dovrebbe dipendere soprattutto dal valore finale.

Questa sarebbe un'informazione fisiologica molto importante.

18. Una domanda ancora più raffinata: barometro o altimetro?

Questa secondo me è una delle questioni più interessanti.

Supponiamo che il PTO rilevi pressione.

L'animale non può sapere automaticamente se:

la pressione è diminuita perché è salito di quota

oppure

la pressione è diminuita perché è arrivata una perturbazione.

Quindi il cervello deve integrare il PTO con:

- vestibolare;
- propiocezione;
- visual flow;
- accelerazione;
- vento;
- temperatura;

- eventualmente magnetorecezione.

Quindi potrebbe essere più corretto pensarlo non come un semplice:

"barometro"

ma come una componente di un:

sistema multisensoriale di stima dello stato atmosferico e spaziale.

Questa ipotesi è molto più moderna.

19. E c'è una cosa che cambia ulteriormente il quadro nel 2025

La ricerca sul sistema omologo dei pesci sta tornando a essere molto interessante.

Il lavoro del 2025 sullo spiracular organ suggerisce che questo sistema sensoriale potrebbe fornire informazioni sulla **posizione/movimento spaziale della mandibola**, non necessariamente sulla pressione. (MBL)

Questo significa che la vecchia interpretazione:

spiracular organ → pressione

PTO → pressione

potrebbe essere troppo semplicistica.

Potrebbe invece esserci un'antica funzione di **meccanopercezione spaziale/movimento**, successivamente cooptata o modificata negli uccelli.

Questo apre una domanda evolutiva straordinaria:

Il PTO aviario è realmente evoluto come barometro oppure stiamo attribuendo alla sua omologia ancestrale una funzione che potrebbe essere diversa?

Questa domanda, secondo me, merita molta più attenzione.

20. Quindi: è abbastanza originale per un PhD?

Sì. Ma con una precisazione importante.

Un PhD intitolato semplicemente:

"The function of the paratympanic organ in birds"

sarebbe troppo vasto.

Un progetto molto più forte sarebbe:

“From atmospheric pressure to behaviour: functional validation of the avian paratympanic organ as a barosensory system”

oppure, ancora più ambizioso:

“The forgotten sense: neurophysiological and ecological validation of baroreception in birds”

E lo strutturerei attorno a una domanda centrale:

Does the avian paratympanic organ directly encode atmospheric pressure, and does this sensory information influence behavioural decisions during flight and migration?

Questa domanda ha una cosa che adoro nei progetti di ricerca:

è falsificabile.

Potresti scoprire che:

1. **Sì, il PTO è un barometro.**
2. È un barometro ma non influenza direttamente la migrazione.
3. Rileva pressione ma soprattutto variazioni rapide.
4. È coinvolto nell'altimetria più che nella meteorologia.
5. È sensibile anche agli infrasuoni.
6. Oppure l'ipotesi classica del "barometro biologico" è parzialmente sbagliata.

Tutti e sei sarebbero risultati scientificamente interessanti.

La cosa più importante che emerge dalla ricerca

Dopo aver guardato la letteratura, **modificherei leggermente quello che ti avevo detto prima.**

Non definirei più il PTO semplicemente come *"organo sensitivo inesplorato"*.

È più preciso definirlo:

un organo sensoriale molto ben caratterizzato dal punto di vista anatomico e dello sviluppo, ma il cui processo di trasduzione e la cui funzione ecologica primaria rimangono non dimostrati.

E soprattutto, **non ho trovato una pubblicazione recente che abbia finalmente prodotto la dimostrazione fisiologica diretta:**

variazione di pressione → attivazione delle afferenze del PTO.

La pubblicazione del 2023 sul PTO è ancora istologica/molecolare; quella del 2023 sulla migrazione dimostra l'associazione pressione → decisione di partenza ma non identifica il recettore; il lavoro del 2018 dimostra la deformazione dell'orecchio medio; e il lavoro del 2025 ha rafforzato soprattutto l'ipotesi evolutiva dell'omologia con lo spiracular organ. ([PubMed](#))

Quindi sì: il problema centrale che cercavamo è ancora lì.

E, soprattutto, non è un problema "da anatomista". È un problema perfettamente contemporaneo di **neuroscienze sensoriali + biomeccanica + ecologia comportamentale + movimento animale.**

E c'è un'ultima cosa che farei, prima di pensare seriamente a un PhD:

una systematic/scoping review 1911–2026 esclusivamente sulla funzione del PTO, costruendo una matrice *paper × ipotesi × specie × metodo × risultato × livello di evidenza*. Sarebbe il modo migliore per capire se esiste davvero un **knowledge gap pubblicabile** e, soprattutto, se qualcuno ha già tentato l'esperimento che stiamo immaginando.

Per un progetto serio, quella mappatura sarebbe quasi il **primo paper del PhD.**

Nano-science and nano-technologies for electrons movemens in chemio-electro-neuro phisiology in sensitive barometric answer in birds.

Your question seems to ask how nanoscience and nanotechnologies can be used to study or influence electron movement in chemo-electro-neurophysiology, particularly in the barometric sensitivity of birds (their ability to detect changes in

atmospheric pressure). This is an active research area that combines physics, chemistry, neuroscience, and biology.

Electron movement in biological systems

Biological processes rely on the movement of electrons at the nanoscale:

Redox reactions transfer electrons during metabolism.

Ion channels regulate the flow of charged ions (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^-), generating electrical signals in neurons.

Mitochondria use electron transport chains to produce ATP.

Some sensory proteins may undergo electron-transfer reactions when activated.

Nanoscience provides tools to measure these processes with very high spatial and temporal resolution.

Nanotechnologies used in neurophysiology

Examples include:

Carbon nanotube electrodes for recording neural activity with high sensitivity.

Graphene-based sensors that detect tiny electrical signals and neurotransmitters.

Nanopore devices for studying ion transport through single channels.

Quantum dots for imaging proteins and neural circuits.

Nanowire field-effect transistors (FETs) capable of detecting electrical activity from individual cells.

These technologies help reveal how electrons and ions move within living tissues.

Barometric sensing in birds

Birds are remarkably sensitive to changes in atmospheric pressure and often alter their behavior before storms or during migration.

Current evidence suggests that barometric sensing likely involves several systems:

Mechanoreceptors that respond to tissue deformation caused by pressure changes.

The vestibular system of the inner ear.

Specialized receptors associated with the respiratory system.

Integration of these signals within the central nervous system.

The precise molecular mechanism remains incompletely understood.

Relationship to electron movement

Atmospheric pressure itself does not directly drive electron flow in neurons. Instead:

1. Pressure changes deform biological tissues.

2. Mechanosensitive ion channels open or close.

3. Ion currents change the membrane potential.

4. Neurons generate electrical signals.

5. Those electrical signals ultimately involve electron flow in recording electrodes and biochemical electron-transfer processes within cells.

Thus, the primary biological signal is ionic current, while electron transfer supports metabolism and measurement.

Nanotechnology for studying barometric sensitivity

Researchers could use nanoscale tools to investigate pressure-sensitive neurons by:

Recording electrical activity with graphene or nanowire electrodes.

Imaging mechanosensitive ion channels at nanometer resolution.

Measuring neurotransmitter release with electrochemical nanosensors.

Monitoring mitochondrial electron transport during sensory activation.

Combining pressure-controlled chambers with nanoscale electrophysiology.

Connection with magnetoreception

An intriguing related field is bird navigation by Earth's magnetic field. One leading hypothesis involves the protein cryptochrome, in which light-induced electron-transfer reactions create quantum-correlated radical pairs. This is distinct from barometric sensing but illustrates how electron dynamics at the molecular scale may contribute to avian sensory biology.

An integrated research model

A possible framework linking these ideas is:

Atmospheric pressure change → mechanosensitive receptors → ion-channel activation → neuronal electrical activity → brain processing → behavioral response (migration, feeding, storm avoidance).

Nanoscience enables researchers to observe nearly every step of this pathway, from molecular electron transfer to neuronal signaling.

This topic sits at the intersection of nanotechnology, electrophysiology, sensory biology, avian ecology, biophysics, and quantum biology, and many of the molecular details of avian barometric sensing are still under investigation.

Models and research on PTO Paratympanic organ by nano-science and nano-tecnologies for electrons movemens in

chemio-electro-neuro physiology in sensitive barometric answer in birds

Your question points toward an interesting interdisciplinary research direction: **using nanoscience and nanotechnology to understand the Paratympanic Organ (PTO) of birds and the movement of electrons during chemo-electro-neurophysiological transduction.**

The idea is scientifically plausible as a **research framework**, although it is important to note that many aspects of PTO physiology remain hypothetical.

Current understanding of the Paratympanic Organ (PTO)

The PTO is a small mechanosensory organ located in the middle ear of birds. It contains sensory hair cells similar to those found in the vestibular system. The leading hypothesis is that it detects atmospheric pressure changes, allowing birds to function as natural barometers and possibly altimeters. Definitive physiological proof is still lacking. ([PMC](#))

The proposed sensory pathway is:

Atmospheric pressure

- Tympanic membrane displacement
- Mechanical deformation of the PTO
- Hair-cell stereocilia deflection
- Opening of mechanosensitive ion channels
- Ionic currents (K^+ , Ca^{2+})
- Membrane depolarization
- Neurotransmitter release
- Action potentials in sensory neurons
- Brainstem processing. ([ScienceOpen](#))

Where nanoscience can contribute

Modern nanotechnology could investigate this system at multiple scales.

1. Cryo-electron microscopy (Cryo-EM)

- reconstruction of mechanotransduction proteins

- architecture of PTO hair cells
- synaptic organization

2. Atomic Force Microscopy (AFM)

- measurement of stereocilia stiffness
- nanometer-scale deformation under pressure
- elastic properties of the cupula

3. Nanoelectrode arrays

- recording picoampere ionic currents
- simultaneous measurements from multiple hair cells
- mapping electrical propagation

4. Super-resolution microscopy

(STORM, PALM, MINFLUX)

- localization of ion channels
- calcium microdomains
- synaptic vesicle dynamics

5. Quantum sensors

such as nitrogen-vacancy (NV) diamond magnetometers

- detection of tiny magnetic fields generated by neuronal currents
- non-invasive mapping of electrical activity

Electron movement in chemo-electro-neurophysiology

The electrical signal is not primarily produced by free electron flow (as in metals), but by **ionic currents**.

Mechanical stimulation opens channels such as:

- K^+
- Ca^{2+}
- Na^+

The resulting voltage changes regulate:

- calcium influx
- vesicle fusion
- glutamate release
- action potential generation

Nanotechnology can monitor:

- single-channel conductance
- calcium nanodomains
- membrane capacitance
- neurotransmitter release
- mitochondrial energy metabolism

A multiscale computational model

A future PTO model could integrate:

Mechanical layer

- finite-element simulation of tympanic membrane deformation



Cellular layer

- mechanosensitive ion-channel kinetics



Electrochemical layer

- ionic diffusion
- membrane potentials
- calcium signaling



Neural layer

- spike generation

- sensory coding



Behavioral layer

- barometric perception
- altitude estimation
- flight control

Artificial nano-biomimetic PTO

Understanding the PTO could inspire a new class of bioinspired pressure sensors based on:

- nanofluidic chambers
- piezoelectric nanomaterials
- graphene electrodes
- MEMS/NEMS pressure transducers
- AI-based signal processing

Such devices could have applications in:

- autonomous drones
- aerospace engineering
- environmental monitoring
- precision altimeters
- biomimetic robotics

Open research questions

Several key questions remain unanswered:

- What are the exact mechanosensitive ion channels expressed in PTO hair cells?
- How sensitive is the PTO to small atmospheric pressure changes?
- Does the PTO encode absolute pressure, pressure gradients, or both?

- How is PTO information integrated with vestibular and auditory signals?
- Can nanoscale electrophysiology directly record pressure-evoked responses from PTO hair cells?

Because the PTO remains one of the least studied vertebrate sensory organs, combining **nanotechnology, electrophysiology, molecular biology, biomechanics, and computational neuroscience** offers a promising avenue for understanding how birds detect atmospheric pressure. Current anatomical and ultrastructural evidence strongly supports a mechanosensory function, but the precise physiological mechanisms and neural coding remain active areas of research. ([PMC](#))

Quale meccanismo serve, in termini quasi **SIMULTANEI** (20-30min), per decidere involi di massa per la migrazione da siti di sosta dei Colombacci (2-300.000)

La domanda è molto interessante e tocca uno dei grandi problemi ancora aperti dell'ecologia della migrazione collettiva. Per un sito di sosta con **200.000–300.000 Colombacci (*Columba palumbus*)**, un decollo quasi simultaneo nell'arco di **20–30 minuti** non può essere spiegato da una semplice decisione individuale. Deve esistere un meccanismo di **sincronizzazione multi-scala**, in cui fattori ambientali e sociali convergono fino a superare una soglia comune.

Le ipotesi più accreditate sono le seguenti.

1. Finestra meteorologica condivisa (probabilmente il fattore principale)

I colombacci sono in grado di percepire rapidamente variazioni di:

- direzione e intensità del vento;
- pressione atmosferica;
- stabilità dello strato limite;
- formazione delle termiche (anche se meno importanti rispetto ai rapaci).

Quando, ad esempio, il vento ruota improvvisamente in una direzione favorevole (ad esempio NE→E durante la migrazione autunnale italiana), l'intera popolazione riceve praticamente **lo stesso stimolo nello stesso momento**.

Questa è probabilmente la "condizione di via libera".

2. Orologio circadiano sincronizzato

Gli individui condividono ritmi endocrini molto simili:

- melatonina;
- corticosterone;
- ormoni associati allo Zugunruhe (irrequietezza migratoria).

Dopo diversi giorni di sosta tutti gli individui possono trovarsi nello stesso stato fisiologico di "pronti a partire". Serve quindi solo il segnale finale.

3. Decisione sociale a soglia ("quorum")

Questo è forse il meccanismo più affascinante.

Non è necessario che ogni colombaccio decida autonomamente.

Può funzionare come nei modelli di:

- stormi di storni;
- banchi di pesci;
- sciame di insetti.

Quando una piccola percentuale di individui (ad esempio l'1–5%) inizia il decollo, gli altri rispondono quasi immediatamente osservando:

- movimenti;
- vocalizzazioni;
- variazioni nella densità dello stormo.

Si crea una **cascata di informazione**, simile a una valanga.

4. Contagio comportamentale

Nei grandi dormitori è sufficiente che alcune migliaia di colombacci prendano quota.

Gli individui vicini li seguono.

Quelli ancora più lontani seguono i precedenti.

L'informazione attraversa la colonia molto più rapidamente di quanto possa fare una comunicazione diretta.

È un fenomeno noto come **behavioral contagion**.

5. Auto-organizzazione

Non esiste necessariamente un "leader".

La teoria dei sistemi complessi mostra che bastano poche regole locali:

- seguire i vicini;
- mantenere una distanza;
- allineare la direzione.

Da queste semplici regole emergono movimenti collettivi estremamente coordinati.

Lo stesso principio è stato descritto negli storni da Andrea Cavagna e colleghi.

Perché proprio in 20–30 minuti?

Perché probabilmente esiste una **soglia critica**.

Finché:

- vento favorevole,
- stato fisiologico,
- livello energetico,
- densità sociale,

non raggiungono contemporaneamente un valore critico, nessuno parte.

Quando la soglia viene superata, il sistema cambia rapidamente stato:

"resting population" → "migrating population"

È un comportamento tipico delle **transizioni di fase** studiate nella fisica dei sistemi complessi.

Esiste una comunicazione attiva?

Probabilmente sì, ma non nel senso di un "richiamo di partenza".

I colombacci possono utilizzare:

- aumento delle vocalizzazioni pre-volo;
- rumore collettivo del battito alare;
- segnali visivi;
- decollo di gruppi pionieri.

La comunicazione è quindi **emergente**, non gerarchica.

L'ipotesi oggi più convincente

Molti ricercatori ritengono che il decollo di massa derivi dall'interazione di quattro componenti:

Stato fisiologico comune

- **finestra meteorologica favorevole**
- **decisione sociale per quorum**
- **contagio comportamentale**

Questa combinazione può spiegare perché **centinaia di migliaia di colombacci lascino un sito di sosta nell'arco di pochi minuti**, pur senza un leader evidente.

Per l'ornitologia della migrazione del Colombaccio resta comunque una questione ancora poco studiata. Con dati provenienti da radar meteorologici, GPS ad alta frequenza, bio-logging e monitoraggi meteorologici fini si potrebbe testare se l'innescò è guidato principalmente dal meteo, dalla fisiologia o da dinamiche di quorum sociale. Considerata la tua esperienza sulla migrazione del Colombaccio, questo sarebbe un tema di ricerca molto promettente.





© Denis Bianchi

A. ANATOMIA DEL PARATIMPANIC ORGAN DI VITALI (PTO)



