

## ***Revisiting episodic-like memory in scrub jays: Is there more we can still learn from what–where–when caching behaviour?***

Worsfold, E., Clayton, N. S., & Cheke, L. G. (2025). Learning & Behavior, 53, 65–79.

### ***Επανεξέταση της τύπου επεισοδιακής μνήμης στις κίσσες (scrub jays): Υπάρχουν περισσότερα να μάθουμε ακόμα από τη συμπεριφορά αποθήκευσης "τι-πού-πότε";***

Ομάδα 16: Νίκος Πλατής, Ιωάννης Τσομπανούδης

#### **Περίληψη (Abstract)**

Στην παρούσα μελέτη, επανεξετάζουμε την ύπαρξη μνήμης τύπου επεισοδιακής στις δυτικές κίσσες (*Aphelocoma californica*), εστιάζοντας στη συμπεριφορά αποθήκευσης και ανάκτησης τροφής βάσει του προτύπου «τι-πού-πότε». Στόχος μας ήταν να διερευνήσουμε τις γνωστικές ικανότητες των πτηνών με αυστηρότερα κριτήρια, αποκλείοντας εναλλακτικές ερμηνείες όπως η απλή εξασθένηση της μνήμης. Για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιήσαμε ένα πειραματικό σχήμα τεσσάρων δίσκων, το οποίο μας επέτρεψε να διακρίνουμε τη στοχευμένη ανάκτηση από τη γενική εξερεύνηση. Εκπαιδεύσαμε τα πτηνά να αποθηκεύουν δύο τύπους τροφής: σκουλήκια (προτιμώμενα αλλά αλλοιώσιμα) και φιστίκια/κουκουνάρια (ανθεκτικά), και εξετάσαμε τη συμπεριφορά τους μετά από μικρά (4 ώρες) και μεγάλα (76 ώρες) χρονικά διαστήματα. Καινοτομώντας μεθοδολογικά, εισαγάγαμε μια διάκριση στον τρόπο αναζήτησης, αναλύοντας τις κινήσεις σε στοχευμένα «καρφώματα» (pokes) και ευρύτερες «σαρώσεις» (swipes). Τα αποτελέσματά μας έδειξαν ότι τα πτηνά προσαρμόσαν ευέλικτα τη στρατηγική τους, αναζητώντας τα σκουλήκια όταν ήταν φρέσκα και στρέφοντας το ενδιαφέρον τους στα κουκουνάρια όταν τα σκουλήκια είχαν αλλοιωθεί. Παρατηρήσαμε ότι οι λιγότερο εξερευνητικές συμπεριφορές (όπως τα pokes και οι πρώιμες αναζητήσεις) συνδέονται ισχυρότερα με τη μνήμη «τι-πού-πότε». Συμπερασματικά, επιβεβαιώνουμε ότι οι κίσσες διαθέτουν μνήμη τύπου επεισοδιακής και ότι η λεπτομερής ανάλυση των μοτίβων αναζήτησης αποκαλύπτει με μεγαλύτερη σαφήνεια τις μνημονικές τους ικανότητες.

## **Εισαγωγή**

Σε αυτή την μελέτη εξετάζεται η επιστημονική αναγνώριση ότι μερικά είδη πτηνών, κυρίως τα κορακοειδή (όπως οι κίσσες και τα κοράκια), διαθέτουν προηγμένες γνωστικές ικανότητες οι οποίες παλαιότερα θεωρούνταν αποκλειστικά ανθρώπινες. Η έρευνα εστιάζει στην επεισοδιακή μνήμη. Η μνήμη αυτή αφορά προσωπικές εμπειρίες και συγκεκριμένα γεγονότα από το παρελθόν μας. Για να χαρακτηριστεί μια μνήμη “επεισοδιακή”, πρέπει να πληροί τα κριτήρια του “τι”, “πού” και “πότε” συνέβη. Κύρια έδρα της μνήμης του ανθρώπου είναι ο Ιππόκαμπος, ενώ στα πτηνά βρίσκεται σε μια ομόλογη δομή που ονομάζεται Πτηνητικός Ιππόκαμπος, στον οποίο εδράζεται και η επεισοδιακή μνήμη. Σε παλαιότερες μελέτες οι Clayton και Dickinson είχαν εισαγάγει τον όρο “episodic-like-memory” δηλαδή μνήμη τύπου επεισοδιακή. Αυτό γιατί τα πτηνά δεν γνωρίζουμε πως βιώνουν την εμπειρία της “θύμησης”, καθώς δεν είναι δυνατό να μπούμε στο μυαλό τους. Προκειμένου να διαπιστωθεί αν τα πτηνά λειτουργούν με επεισοδιακή μνήμη διεξήγαγαν ένα πείραμα. Αρχικά, εκπαιδεύτηκαν κίσσες να αποθηκεύουν δύο τύπους τροφής: μία που προτιμούσαν αλλά αλλοιωνόταν μετά από συγκεκριμένο χρόνο (π.χ., σκουλήκια) και μία που ήταν ανθεκτική (π.χ., φιστίκια). Όταν περνούσε λίγος χρόνος (4 ώρες), τα πουλιά αναζητούσαν την προτιμώμενη τροφή (σκουλήκια). Όταν περνούσε πολύς χρόνος (αρκετός ώστε τα σκουλήκια να έχουν χαλάσει, 120 ώρες), τα πουλιά άλλαζαν ευέλικτα στρατηγική και αναζητούσαν την ανθεκτική τροφή (φιστίκια). Αυτό αποδεικνύει ότι τα πτηνά συνδύαζαν τη μνήμη τους για το Τι, Πού και Πότε είχαν κρύψει την τροφή, με τη γνώση τους για τους ρυθμούς αλλοίωσης. Προτού καταλήξουμε στο ότι η επεισοδιακή μνήμη εξηγεί την συμπεριφορά των κισσών, υπήρχαν κι άλλες εναλλακτικές ερμηνείες, όπως η συνειρμική μάθηση και η χωρική μνήμη. Η συνειρμική μάθηση είναι η διαδικασία κατά την οποία ένας οργανισμός μαθαίνει να συνδέει δύο ερεθίσματα μεταξύ τους ή μια συμπεριφορά με ένα αποτέλεσμα. Είναι ουσιαστικά η μάθηση μέσω κανόνων και συνηθειών, χωρίς απαραίτητα να απαιτείται συνειδητή ανάκληση του παρελθόντος. Στο πλαίσιο των κισσών: Συνειρμική μάθηση θα ήταν αν το πουλί μάθαινε τον γενικό κανόνα: «Μετά από πολλή ώρα, τα σκουλήκια έχουν κακή γεύση», χωρίς να χρειάζεται να θυμάται το συγκεκριμένο επεισόδιο που τα έκρυψε. Η χωρική μνήμη είναι η ικανότητα του εγκεφάλου να καταγράφει πληροφορίες για το περιβάλλον και τον προσανατολισμό μέσα σε αυτό. Μας επιτρέπει να θυμόμαστε πού βρίσκονται τα αντικείμενα και πώς να πλοηγηθούμε στον χώρο.

## **Νέα μέτρα για παλιά ερωτήματα**

Η τρέχουσα μελέτη, που αναφέρεται στο τέλος, στοχεύει να διερευνήσει αυτές τις συμπεριφορές ανάκτησης με ακόμη μεγαλύτερη λεπτομέρεια.

## **Πού λαμβάνει χώρα η αναζήτηση:**

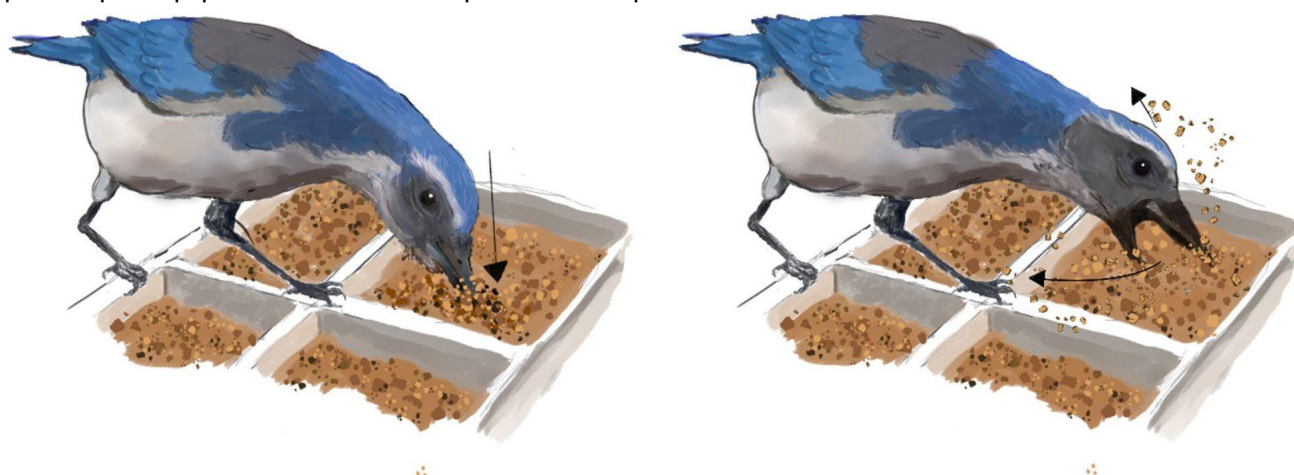
Σε παλιές μελέτες χρησιμοποιούνταν μόνο δύο τοποθεσίες αποθήκευσης (π.χ., Δίσκος Α και Δίσκος Β). Αυτό καθιστά αδύνατο να διακριθεί αν ένα πτηνό επιλέγει ενεργά τον Δίσκο Β (π.χ., με τα φιστίκια) ή αν απλώς αποφεύγει τον Δίσκο Α (π.χ., με τα αλλοιωμένα σκουλήκια). Αν αποφεύγει τον Α, αναγκαστικά θα ψάξει στον Β, ακόμη κι αν δεν περιμένει να βρει κάτι εκεί. Μια άλλη κριτική είναι ότι τα αποτελέσματα δεν οφείλονται σε πολύπλοκη μνήμη (Τι-Πού-Πότε), αλλά στην απλή εξασθένηση της μνήμης (degrading memory trace). Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία, μετά από μεγάλη καθυστέρηση, η μνήμη των πτηνών για το πού έκρυψαν την τροφή (π.χ. σκουλήκια) γίνεται ανακριβής, οδηγώντας τα σε τυχαία αναζήτηση. Η παρούσα μελέτη εισάγει δύο βασικές βελτιώσεις για να αντιμετωπίσει αυτές τις κριτικές. Η πρώτη είναι χρήση τεσσάρων δίσκων όπου αντί για δύο, η μελέτη χρησιμοποιεί τέσσερις δίσκους. Σε δύο από αυτούς τα πτηνά αποθήκευσαν την τροφή τους, ενώ οι άλλοι δύο αποτελούν δίσκους ελέγχου (άδειους). Αυτό μας επιτρέπει να διακρίνουμε τη στοχευμένη ανάκτηση κρύπτης (αναζήτηση σε συγκεκριμένο δίσκο αποθήκευσης) από τη γενική εξερεύνηση (τυχαία αναζήτηση στους δίσκους ελέγχου). Εάν η μνήμη απλώς εξασθενούσε, τα πτηνά αναμένεται να ψάχνουν διάσπαρτα σε όλους τους δίσκους. Παρ' όλα αυτά, η μελέτη δεν εξετάζει μόνο σε ποιον δίσκο ψάχνουν τα πτηνά, αλλά και πόσο ακριβείς είναι οι αναζητήσεις τους μέσα στον δίσκο (αφού δεν αποθηκεύουν σε κάθε κελί). Γίνεται διάκριση των «εξερευνητικών» αναζητήσεων (πιο τυχαίες, κατανεμημένες) από τις «αναζητήσεις ανάκτησης» (που στοχεύουν στα ακριβή κελιά όπου υπήρχε τροφή). Επίσης, η μελέτη μας εξετάζει εάν οι χωρικά ακριβείς αναζητήσεις κατευθύνονται συχνότερα προς την τρέχουσα βρώσιμη τροφή (σε σύγκριση με την αλλοιωμένη). Αυτό θα δείξει εάν τα πτηνά θυμούνται με ακρίβεια όχι μόνο ποιος δίσκος, αλλά και ποια συγκεκριμένα κελιά περιέχουν την τροφή που αξίζει να ανακτηθεί.

## **Πότε λαμβάνει χώρα η αναζήτηση:**

Η ανάλυση της 20λεπτης περιόδου ανάκτησης τροφής είναι δύσκολη, καθώς τα πτηνά δεν εκτελούν μόνο μία ενέργεια, αλλά ένα μείγμα συμπεριφορών με διαφορετικά κίνητρα: την ανάκτηση της τροφής, την αντίδραση στην απουσία της (σε πειράματα εξάλειψης της) και τη γενική εξερεύνηση. Εξαιτίας αυτού του μείγματος, η απλή καταμέτρηση του συνολικού αριθμού αναζητήσεων δεν είναι αξιόπιστος δείκτης, καθώς συγχέει τις στοχευμένες κινήσεις με τις εξερευνητικές. Ενώ προηγούμενες μελέτες επικεντρώθηκαν μόνο στην πρώτη αναζήτηση (first probe) για να συλλάβουν την αρχική πρόθεση, αυτή η μέθοδος αγνοεί πλούσια δεδομένα. Για να το αντιμετωπίσει αυτό, η παρούσα μελέτη υιοθετεί μια πολυεπίπεδη χρονική ανάλυση, εξετάζοντας τη συμπεριφορά κατά την πρώτη κίνηση, κατά τα πρώτα 3 λεπτά και κατά ολόκληρη την 20λεπτη περίοδο. Η βασική υπόθεση είναι ότι οι πρώιμες αναζητήσεις θα είναι πιο στοχευμένες στις κρύπτες της επιθυμητής τροφής, ενώ οι μεταγενέστερες αναζητήσεις θα περιλαμβάνουν υψηλότερο ποσοστό εξερευνητικής συμπεριφοράς, πιο ομοιόμορφα κατανεμημένης.

## Τι συμπεριφορά αναζήτησης παράγεται:

Για να διακρίνουμε την εξερευνητική συμπεριφορά των πτηνών από τη στοχευμένη ανάκτηση τροφής (που βασίζεται στη μνήμη), δεν αρκεί να εξετάσουμε μόνο το πού και το πότε ψάχνουν, αλλά και το πώς το κάνουν. Ενώ παλαιότερες μελέτες χρησιμοποιούσαν τον γενικό όρο «διδεισδύσεις» (probes), στην τρέχουσα έρευνα εισάγουμε μια κρίσιμη διάκριση μεταξύ δύο συγκεκριμένων τύπων συμπεριφοράς (**Εικόνα 1**): τα “rokes” (άμεσες, στοχευμένες κινήσεις ράμφους) και τα “swipes” (ευρύτερες κινήσεις σάρωσης). Η βασική υπόθεση είναι ότι τα “rokes” εκτελούνται όταν το πουλί στοχεύει μια συγκεκριμένη κρύπτη, βασιζόμενο στη μνήμη του για το Τι-Πού-Πότε (WWW), ενώ τα “swipes” θεωρούνται πιο εξερευνητικά και χρησιμοποιούνται όταν η μνήμη της τοποθεσίας είναι αβέβαιη. Συνολικά, η μελέτη στοχεύει να δείξει ότι οι λιγότερο εξερευνητικές συμπεριφορές —δηλαδή τα “rokes”, οι αναζητήσεις που γίνονται νωρίς στη δοκιμή και όσες γίνονται σε κελιά που όντως περιείχαν τροφή— θα δείξουν την ισχυρότερη σύνδεση με τη μνήμη WWW, παρέχοντας έτσι μια σαφέστερη εικόνα των ικανοτήτων των πτηνών.



**Εικόνα 1:** Τύποι διερεύνησης (Probe types). Αριστερά: Ένα «σκοούντημα» (roke) απευθείας μέσα στο υπόστρωμα. Δεξιά: Μια «σάρωση» (swipe) κατά μήκος του υποστρώματος. Τα «σκοούντηματα» ενδέχεται να είναι ενδεικτικά μιας στοχευμένης προσπάθειας ανάκτησης κρύπτης, ενώ οι «σαρώσεις» μπορεί να αποτελούν πιο γενική συμπεριφορά αναζήτησης.

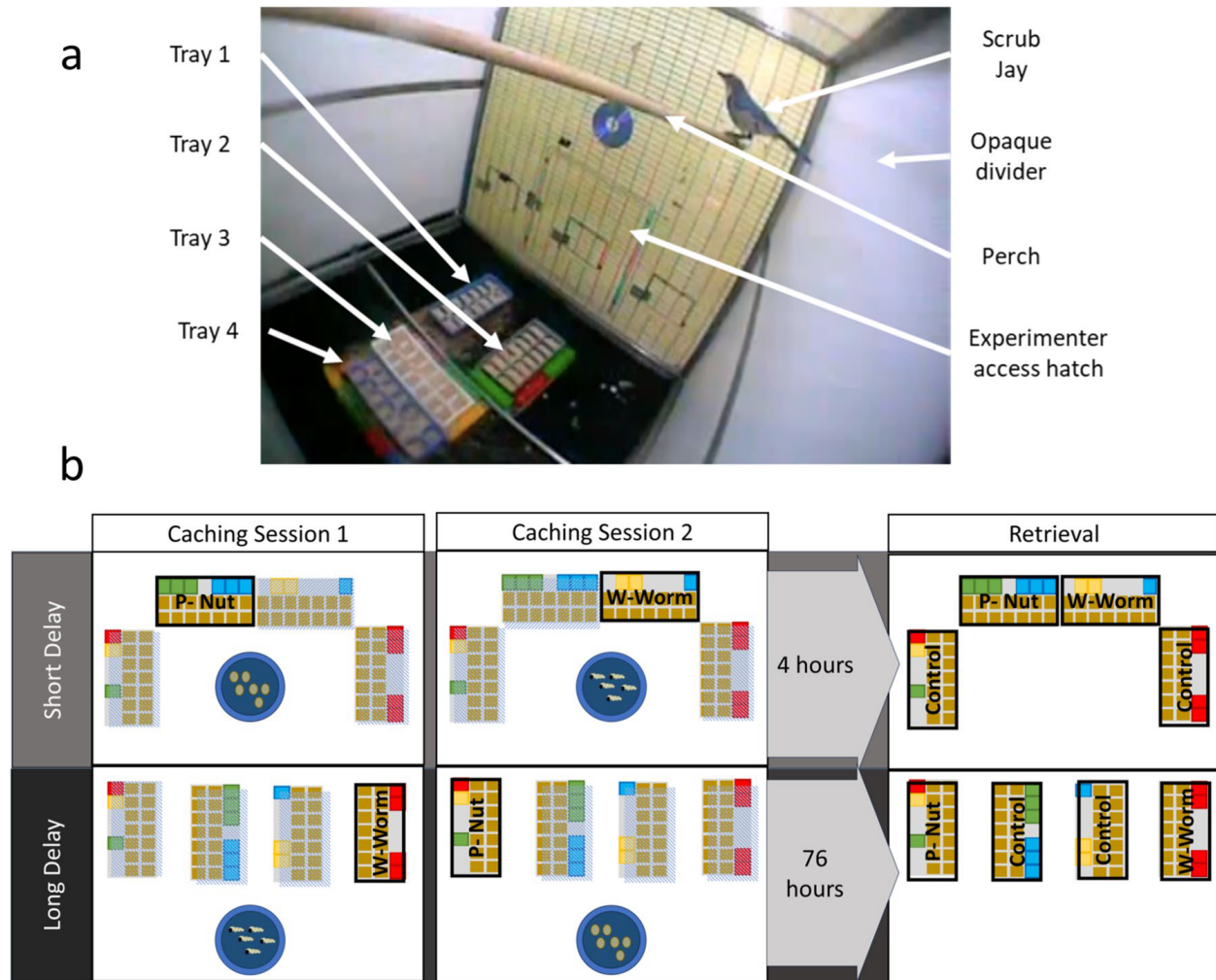
## Μέθοδοι

Η μελέτη διεξήχθη χρησιμοποιώντας αρχικά ένα δείγμα 11 δυτικών κισσών (*Arhelocoma californica*), οι οποίες στεγάζονταν ανά ζεύγη σε ελεγχόμενες συνθήκες περιβάλλοντος (21 °C, κύκλο φωτός-σκότους 12 ωρών). Για τις ανάγκες του πειράματος, δημιουργήθηκαν ειδικά διαμερίσματα δοκιμής με κάμερες και αδιαφανή διαχωριστικά, ώστε να εξασφαλίζεται η οπτική απομόνωση των υποκειμένων (χωρίς την ακουστική απομόνωση τους, **Εικ. 2α**), ενώ η τροφή αφαιρούνταν 2 ώρες πριν τις δοκιμές για τη διασφάλιση κινήτρου. Ωστόσο, η κύρια έρευνα περιορίστηκε τελικά σε μόλις τέσσερα πτηνά (όλα ηλικίας 7 ετών), καθώς ήταν τα

μόνα που ολοκλήρωσαν επιτυχώς την εκπαίδευση και τις δύο φάσεις της διαδικασίας. Τα υπόλοιπα πτηνά αποκλείστηκαν κυρίως λόγω άκαμπτων προτιμήσεων ή άρνησης αποθήκευσης της τροφής στους δίσκους, με ορισμένα μερικά δεδομένα να περιλαμβάνονται μόνο στο συμπληρωματικό υλικό. Όλες οι διαδικασίες πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τις ισχύουσες δεοντολογικές οδηγίες για τη φροντίδα των ζώων.

## **Πειραματική Διαδικασία**

Η πειραματική διαδικασία στην **Εικόνα 2** περιελάμβανε την παρουσίαση τεσσάρων οπτικά διακριτών δίσκων (πλαισιωμένων με τουβλάκια Lego) γεμάτων ροκανίδια, όπου τα πτηνά αποθήκευαν σκουλήκια και κουκουνάκια σε δύο διαδοχικές περιόδους των 15 λεπτών, με τους μη χρησιμοποιούμενους δίσκους να παραμένουν καλυμμένοι. Μετά την αποθήκευση, μεσολαβούσε ένα διάστημα διατήρησης είτε 4 ωρών (μικρή καθυστέρηση) είτε 76 ωρών (μεγάλη καθυστέρηση). Κατά τη φάση της εκπαίδευσης, τα πτηνά διδάχθηκαν τους ρυθμούς αλλοίωσης μέσω της εμπειρίας: μετά από 4 ώρες και τα δύο τρόφιμα παρέμεναν φρέσκα, ενώ μετά από 76 ώρες τα σκουλήκια είχαν αλλοιωθεί (μαυρίσει) και ήταν μη βρώσιμα. Για να διασφαλιστεί ότι η συμπεριφορά των πτηνών οφειλόταν αποκλειστικά στην ανάκληση της μνήμης και όχι στην ανίχνευση άμεσων ενδείξεων από το περιβάλλον, έπρεπε να αποκλειστούν δύο εναλλακτικές εξηγήσεις για την επιτυχή εύρεση. Η πρώτη εξήγηση είναι οι οσφρητικές ενδείξεις (μυρωδιές). Αφαιρώντας τις κρύπτες εντελώς («συνθήκες εξάλειψης»), διασφαλίστηκε ότι τα πτηνά δεν μπορούσαν να μυρίσουν την τροφή (σκουλήκια ή φιστίκια). Αν τα πτηνά συνέχιζαν να ψάχνουν στη σωστή τοποθεσία, αυτό αποδείκνυε ότι η αναζήτηση καθοδηγούνταν από την εσωτερική μνήμη (π.χ., «Θυμάμαι ότι έβαλα εδώ [Τι] πριν από [Πότε]»), και όχι από τη μυρωδιά. Η δεύτερη εξήγηση είναι οι οπτικές ενδείξεις. Ισιώνοντας το υπόστρωμα (ροκανίδια), διαγράφηκαν τυχόν οπτικά σημάδια που άφηνε το πτηνό όταν έκρυβε την τροφή (π.χ., μια μικρή λακκούβα, μια ανακατεμένη περιοχή). Έτσι, το πτηνό αναγκάστηκε να βασιστεί στην ακριβή χωρική του μνήμη («Πού») και όχι στην οπτική ένδειξη για να εντοπίσει την κρύπτη. Με αυτόν τον τρόπο, εάν τα πτηνά έψαχναν επιλεκτικά στις σωστές τοποθεσίες, αυτό αποτελούσε ισχυρή απόδειξη ότι χρησιμοποιούσαν την ολοκληρωμένη μνήμη Τι-Πού-Πότε (WWW). Σε αυτές τις δοκιμές, οι οποίες πραγματοποιούνταν πάντα την ίδια ώρα της ημέρας για τον έλεγχο των κirkάδιων ρυθμών, καταγράφονταν για 20 λεπτά όλες οι συμπεριφορές αναζήτησης. Έτσι, κωδικοποιήσαμε το 100% των ενεργειών, διακρίνοντας μεταξύ στοχευμένων «rokes» και ευρύτερων «swipes», σημειώνοντας παράλληλα τον ακριβή χρόνο και την τοποθεσία κάθε κίνησης εντός των δίσκων.



**Εικόνα 2: Πειραματική διάταξη. α)** Φωτογραφία ενός παραδείγματος δοκιμής ανάκτησης. **β)** Παραδείγματα διατάξεων δίσκων, με τέσσερις δίσκους αποθήκευσης 14 κελιών ο καθένας και χρωματιστά τουβλάκια Lego Duplo κατά μήκος της αριστερής άκρης. Οι προσβάσιμοι δίσκοι (για αποθήκευση ή αναζήτηση) επισημαίνονται με έντονους χαρακτήρες. Η θέση αυτών των δίσκων ποίκιλλε μεταξύ των δοκιμών (αλλά ήταν σταθερή εντός των δοκιμών). Τα πτηνά βίωσαν δύο περιόδους αποθήκευσης των 15 λεπτών διαδοχικά, με τη διαθέσιμη τροφή να αντισταθμίζεται μεταξύ των δοκιμών. Κατά τη διάρκεια αυτών των δοκιμών, μόνο ένας δίσκος ήταν προσβάσιμος (διαφορετικοί δίσκοι σε κάθε περίοδο), ενώ δύο δίσκοι παρέμεναν μη προσβάσιμοι και για τις δύο περιόδους (δίσκοι ελέγχου). Στη συνέχεια βίωσαν μια καθυστέρηση είτε 4 είτε 76 ωρών πριν τους επιτραπεί να ανακτήσουν από όλους τους τέσσερις δίσκους. (Έγχρωμη εικόνα στο διαδίκτυο).

## Ανάλυση δεδομένων

Η καταγραφή και κωδικοποίηση των δεδομένων, που συλλέχθηκαν μεταξύ 2013 και 2014, πραγματοποιήθηκε από τέσσερις παρατηρητές με ποσοστό επικάλυψης 20%, επιτυγχάνοντας υψηλή αξιοπιστία μεταξύ τους (δείκτες ICC: 0.64–0.98). Λόγω του

περιορισμένου μεγέθους του δείγματος (μόλις 4 πτηνά), η ανάλυση υιοθέτησε κυρίως μια περιγραφική προσέγγιση, δίνοντας έμφαση σε οπτικές και αριθμητικές τάσεις αντί για την αυστηρή στατιστική σημαντικότητα, καθώς η επίτευξη των παραδοσιακών ορίων ( $p < 0.05$ ) ήταν πρακτικά ανέφικτη. Η στατιστική επεξεργασία πραγματοποιήθηκε μέσω των λογισμικών SPSS και R, αξιοποιώντας δοκιμασίες Friedman για συγκρίσεις εντός των υποκειμένων και RMANOVA για τη διερεύνηση αλληλεπιδράσεων, ενώ οι δοκιμές Wilcoxon χρησιμοποιήθηκαν μόνο ως τιμές αναφοράς. Τέλος, για την ειδική ανάλυση της «πρώτης αναζήτησης» εφαρμόστηκαν διωνυμικές δοκιμές και ακριβείς δοκιμές Fisher.

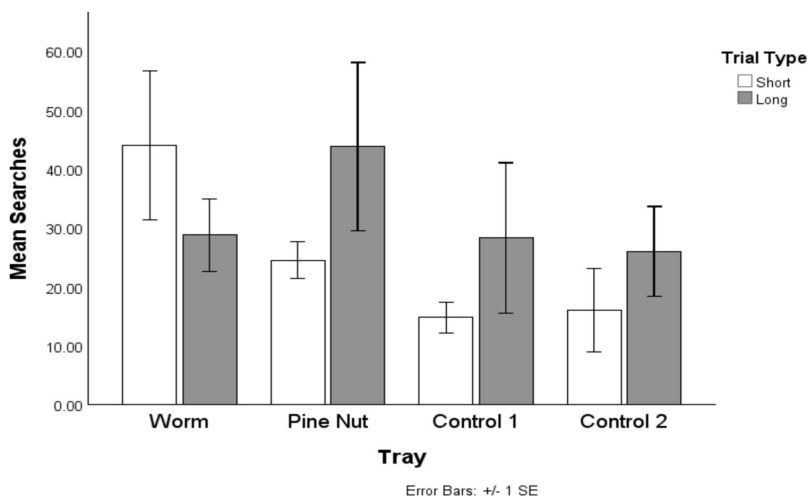
## **Αποτελέσματα**

### **Συνολικός αριθμός αναζητήσεων**

Η ανάλυση του συνολικού αριθμού αναζητήσεων καθ' όλη την περίοδο ανάκτησης αποκάλυψε, μέσω οπτικής σύγκρισης, μια αριθμητική τάση προτίμησης για τον δίσκο με τα σκουλήκια στη συνθήκη μικρής καθυστέρησης και για τον δίσκο με τα κουκουνάκια στη μεγάλη καθυστέρηση, με τους δίσκους ελέγχου να δέχονται τις λιγότερες αναζητήσεις. Η συνολική προτίμηση για τους δίσκους με αποθηκευμένη τροφή έναντι των δίσκων ελέγχου πλησίασε τη στατιστική σημαντικότητα ( $p=0.068$ , η οποία αποτελεί τη χαμηλότερη δυνατή τιμή για το συγκεκριμένο μέγεθος δείγματος). Παρόλα αυτά, η περαιτέρω στατιστική διερεύνηση με RMANOVA που εστίασε αποκλειστικά στους δίσκους τροφής δεν εντόπισε καμία σημαντική κύρια επίδραση του δίσκου ή της χρονικής καθυστέρησης, ούτε κάποια σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ τους. Η RMANOVA (Ανάλυση Διακύμανσης Επαναλαμβανόμενων Μετρήσεων) είναι μια στατιστική μέθοδος που χρησιμοποιείται για τη σύγκριση των ίδιων υποκειμένων (στην προκειμένη περίπτωση, πτηνών) υπό διαφορετικές συνθήκες, προσφέροντας το πλεονέκτημα της αύξησης της στατιστικής ισχύος μέσω της αφαίρεσης των ατομικών διαφορών (π.χ. κινητικότητα). Σε αυτή την μελέτη, η μέθοδος αυτή επιλέχθηκε επειδή όλα τα πτηνά πέρασαν από όλες τις πειραματικές φάσεις (Μικρή και Μεγάλη Καθυστέρηση), επιτρέποντας να εξεταστεί η κρίσιμη αλληλεπίδραση μεταξύ παραγόντων όπως η Καθυστέρηση, ο Δίσκος και ο Τύπος Αναζήτησης (Poke vs Swipe).

Το γράφημα της Εικόνας 3 παρουσιάζει τα αποτελέσματα ενός πειράματος μνήμης και διατροφικής προτίμησης, απεικονίζοντας τον μέσο αριθμό αναζητήσεων (Mean Searches) που πραγματοποίησαν τα υποκείμενα σε τέσσερις διαφορετικούς δίσκους (Tray). Τα δεδομένα διαχωρίζονται σε δύο χρονικές συνθήκες: τη συνθήκη «Μικρής Καθυστέρησης» (Short - λευκές ράβδοι) και τη συνθήκη «Μεγάλης Καθυστέρησης» (Long - γκρι ράβδοι). Στη συνθήκη της Μικρής Καθυστέρησης, παρατηρείται σαφής προτίμηση για τον δίσκο που περιέχει το «Σκουλήκι» (Worm), καθώς εκεί καταγράφεται ο υψηλότερος αριθμός αναζητήσεων (περίπου 45). Αυτό υποδεικνύει ότι, όταν το χρονικό διάστημα που έχει μεσολαβήσει είναι μικρό, το υποκείμενο θυμάται την τοποθεσία της πιο επιθυμητής τροφής και επιλέγει να την ανακτήσει όσο αυτή είναι φρέσκια. Αντίθετα, στη συνθήκη της Μεγάλης

Καθυστέρησης, η συμπεριφορά διαφοροποιείται δραματικά. Οι αναζητήσεις στον δίσκο του σκουληκιού μειώνονται αισθητά, ενώ αυξάνονται κατακόρυφα οι αναζητήσεις στον δίσκο με το «Κουκουνάρι» (Pine Nut), το οποίο αποτελεί πλέον την κυρίαρχη επιλογή. Η αλλαγή αυτή ερμηνεύεται ως ένδειξη επεισοδιακής μνήμης: το υποκείμενο γνωρίζει ότι μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα το σκουλήκι θα έχει αλλοιωθεί (σαπίσει), και γι' αυτό στρέφεται στη λιγότερο επιθυμητή αλλά ανθεκτική στο χρόνο τροφή (κουκουνάρι). Συμπερασματικά, το γράφημα αποδεικνύει ότι τα υποκείμενα ανακαλούν το «τι» (είδος τροφής), το «πού» (τοποθεσία δίσκου) και το «πότε» (χρόνος που πέρασε), προσαρμόζοντας τη στρατηγική αναζήτησής τους ανάλογα με τη βιωσιμότητα της τροφής.



**Εικόνα 3:** Ο μέσος αριθμός αναζητήσεων που κατευθύνθηκαν σε κάθε δίσκο κατά τη διάρκεια των δοκιμών ανάκτησης στις συνθήκες καθυστέρησης. Ο δίσκος που ερευνήθηκε περισσότερο στη συνθήκη μικρής καθυστέρησης ήταν ο δίσκος με τα σκουλήκια, ενώ ο δίσκος που ερευνήθηκε περισσότερο στη συνθήκη μεγάλης καθυστέρησης ήταν ο δίσκος με τα κουκουνάρια.

## Χρονική ανάλυση

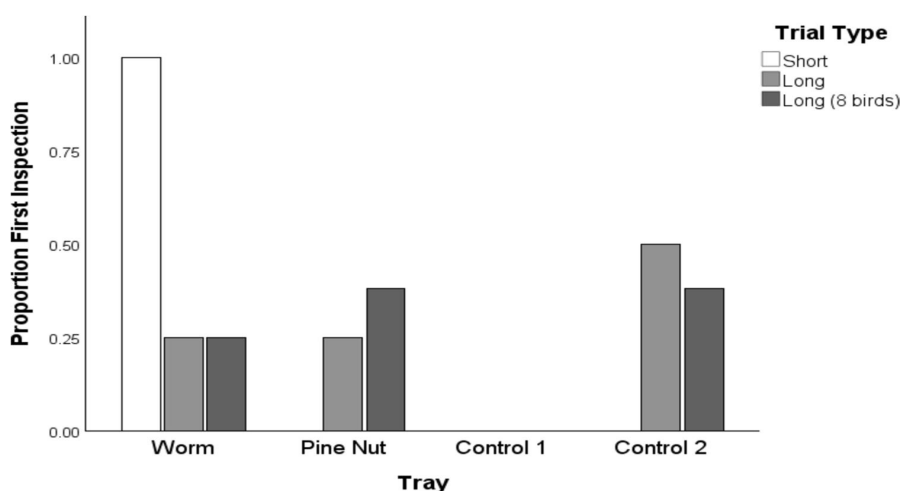
Στη συνέχεια, εστιάσαμε στη διερεύνηση της χρονικής κατανομής των συμπεριφορών αναζήτησης. Η ανάλυση ξεκίνησε με την εξέταση των αρχικών αναζητήσεων (συγκεκριμένα την πρώτη κίνηση και τα πρώτα 3 λεπτά) και επεκτάθηκε στη μελέτη του συνολικού χρονοδιαγράμματος, προκειμένου να διαπιστωθεί πώς εξελίσσονται και κατανέμονται οι αναζητήσεις με την πάροδο του χρόνου.

## Αρχικές αναζητήσεις

Η ανάλυση των αρχικών αναζητήσεων εστίασε στο πού κατευθύνθηκε η πρώτη κίνηση των πτηνών, προκειμένου να διαπιστωθεί αν η μνήμη της τοποθεσίας ανακαλείται άμεσα. Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε η διωνυμική δοκιμή (Binomial Test), μια στατιστική μέθοδος που ελέγχει αν η συχνότητα μιας επιλογής διαφέρει

σημαντικά από την τυχαία πιθανότητα (η οποία ήταν 25%, δεδομένων των 4 δίσκων). Στη συνθήκη μικρής καθυστέρησης, τα αποτελέσματα ήταν ξεκάθαρα και στατιστικά σημαντικά ( $p < 0.001$ ), καθώς όλα τα υποκείμενα επέλεξαν στοχευμένα τον δίσκο με τα σκουλήκια, αποδεικνύοντας ότι η επιλογή τους δεν ήταν προϊόν τύχης. Αντίθετα, στη συνθήκη μεγάλης καθυστέρησης, η συμπεριφορά κρίθηκε τυχαία ( $p=1$ ), με τα πτηνά να μοιράζονται ανάμεσα στις διαθέσιμες επιλογές (κουκουνάρια, αλλοιωμένα σκουλήκια, δίσκοι ελέγχου), χωρίς να αναδειχθεί σημαντική προτίμηση ακόμη και όταν το δείγμα αυξήθηκε σε οκτώ πτηνά. Για την άμεση σύγκριση της συμπεριφοράς των πτηνών μεταξύ των δύο χρονικών συνθηκών, οι ερευνητές εφάρμοσαν την **ακριβή δοκιμασία του Fisher** (Fisher's Exact Test). Η μέθοδος αυτή επιλέχθηκε διότι είναι η πλέον κατάλληλη για τον εντοπισμό διαφορών σε αναλογίες όταν το δείγμα είναι πολύ μικρό. Η ανάλυση έδειξε ότι η μείωση της προτίμησης για τα σκουλήκια (από το 100% στη μικρή καθυστέρηση στο 25% στη μεγάλη) πλησίασε τα όρια της στατιστικής σημαντικότητας ( $p=0.06$ ), υποδεικνύοντας μια ισχυρή αριθμητική τάση αλλαγής στρατηγικής, η οποία όμως δεν κατοχυρώθηκε πλήρως λόγω του περιορισμένου αριθμού των υποκειμένων.

Η Εικόνα 4 απεικονίζει τα αποτελέσματα σχετικά με την πρώτη αναζήτηση (first inspection) που πραγματοποίησαν τα πτηνά, αποκαλύπτοντας μια δραματική αλλαγή στρατηγικής ανάλογα με τον χρόνο που είχε περάσει. Στη συνθήκη μικρής καθυστέρησης (4 ώρες), η συμπεριφορά ήταν απόλυτα στοχευμένη, καθώς το 100% των πτηνών κατευθύνθηκε αμέσως στον δίσκο με τα σκουλήκια (προτιμώμενη τροφή), γνωρίζοντας ότι ήταν ακόμα φρέσκα. Αντίθετα, στη συνθήκη μεγάλης καθυστέρησης (76 ώρες), η συμπεριφορά ήταν διασκορπισμένη και τυχαία, με τις πρώτες κινήσεις να μοιράζονται ανάμεσα στα σκουλήκια, τα κουκουνάρια και τους δίσκους ελέγχου (περίπου 25% στο καθένα). Το γράφημα αυτό επιβεβαιώνει οπτικά ότι οι κίσσες διαθέτουν μνήμη για το «Πότε» (χρόνος αλλοίωσης), καθώς σταματούν να στοχεύουν αποκλειστικά την αγαπημένη τους τροφή όταν γνωρίζουν ότι έχει πλέον χαλάσει.

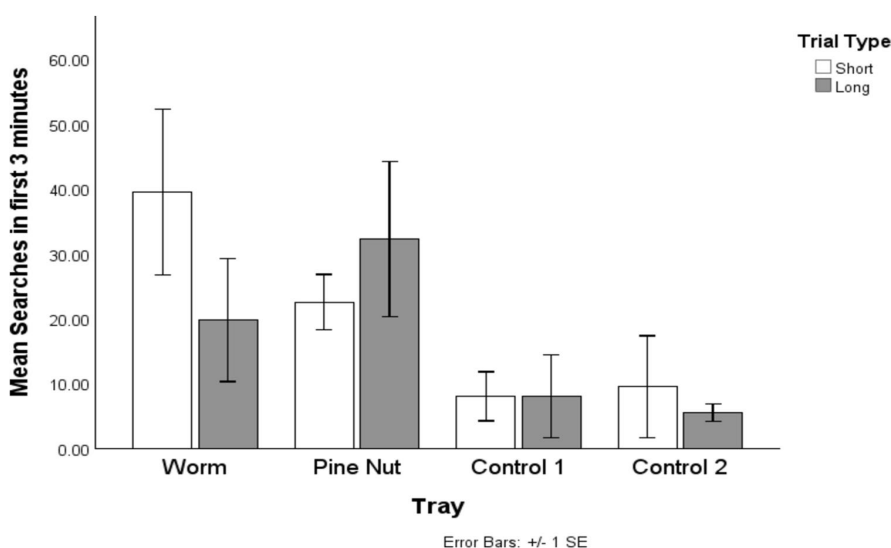


**Εικόνα 4:** Αναλογίες των αρχικών αναζητήσεων που κατευθύνθηκαν σε κάθε δίσκο στις

συνθήκες μικρού και μεγάλου μεσοδιαστήματος. Αυτό περιλαμβάνει τα τέσσερα υποκείμενα που ολοκλήρωσαν τόσο τα τεστ μικρής όσο και μεγάλης καθυστέρησης (δοκιμές μικρής και μεγάλης καθυστέρησης) καθώς και δεδομένα από τέσσερα επιπλέον πτηνά που ολοκλήρωσαν μόνο τη μεγάλη καθυστέρηση («Μεγάλη (8 πτηνά)»). Ο δίσκος με τα σκουλήκια ερευνήθηκε πρώτος μόνο στη δοκιμαστική δοκιμή μικρής καθυστέρησης, ενώ οι πρώτες αναζητήσεις στη δοκιμαστική δοκιμή μεγάλης καθυστέρησης κατανεμήθηκαν μεταξύ των δίσκων.

## Τα πρώτα 3 λεπτά

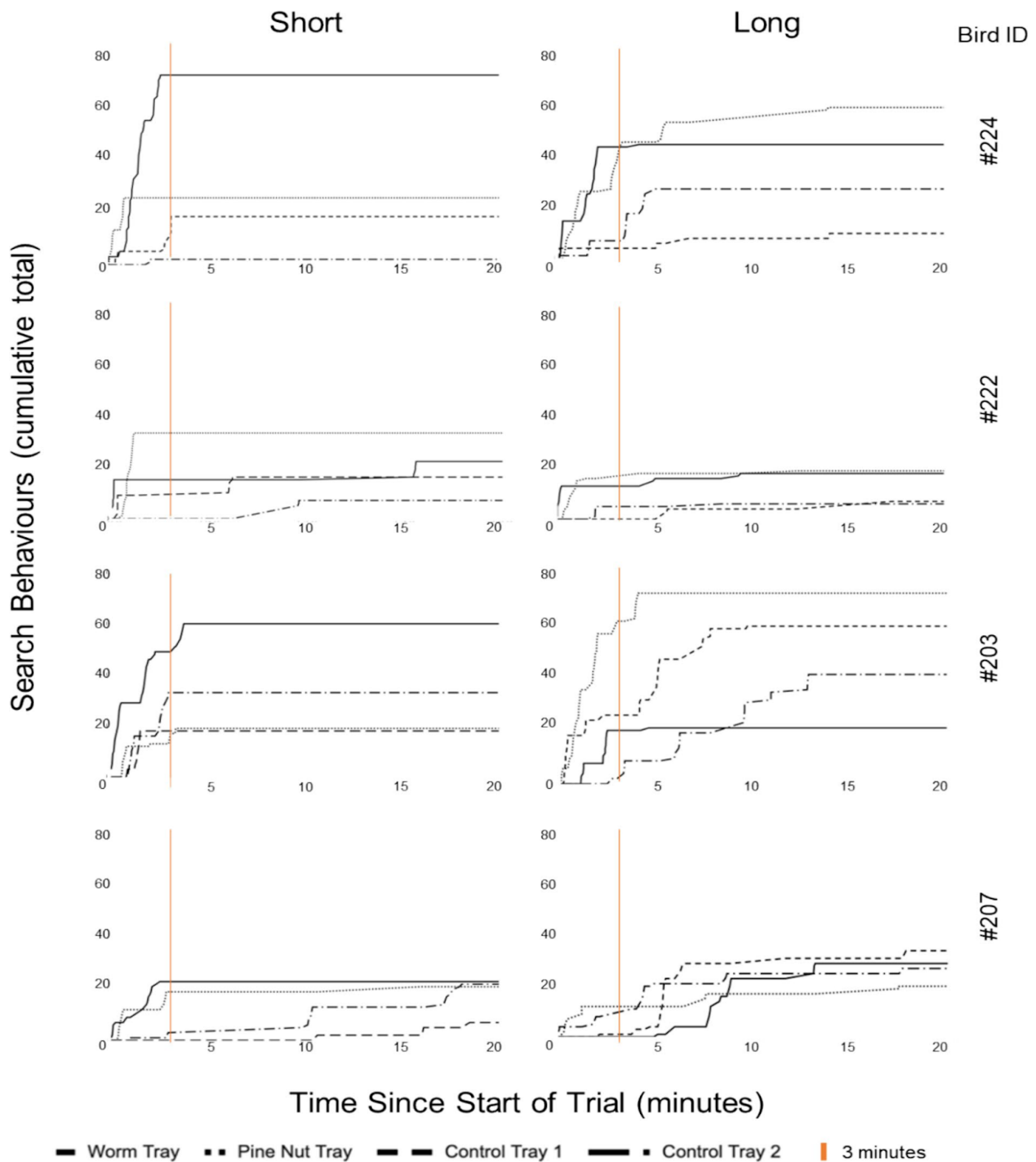
Η ανάλυση της συμπεριφοράς των πτηνών κατά τα πρώτα 3 λεπτά των δοκιμών ανέδειξε ότι τα υποκείμενα πραγματοποίησαν στατιστικά σημαντικά περισσότερες αναζητήσεις στους δίσκους που περιείχαν αποθηκευμένη τροφή σε σύγκριση με τους δίσκους ελέγχου (δοκιμή Friedman,  $p = 0.046$ ). Η **Εικόνα 5** αποτυπώνει αυτή την τάση, η οποία ακολουθεί το γενικό μοτίβο των συνολικών αναζητήσεων, αν και εμφανίζεται λιγότερο ευκρινής. Ωστόσο, η περαιτέρω στατιστική διερεύνηση (RMANOVA) που εστίασε αποκλειστικά στους δίσκους με τροφή δεν εντόπισε σημαντικές διαφοροποιήσεις. Συγκεκριμένα, δεν βρέθηκε καμία στατιστικά σημαντική επίδραση για τον τύπο του δίσκου ( $p=0.806$ ), τη χρονική καθυστέρηση ( $p = 0.448$ ) ή την αλληλεπίδραση μεταξύ Δίσκου και Καθυστέρησης ( $p=0.232$ ), υποδεικνύοντας ότι σε αυτό το σύντομο χρονικό παράθυρο η κατανομή των αναζητήσεων μεταξύ των δίσκων τροφής δεν άλλαξε σημαντικά βάσει των συνθηκών.



**Εικόνα 5:** Ο συνολικός αριθμός αναζητήσεων στα πρώτα 3 λεπτά των δοκιμών ανάκτησης. Όπως και με τα δεδομένα πλήρους περιόδου, ο δίσκος που αναζητήθηκε περισσότερο στη συνθήκη μικρής καθυστέρησης ήταν ο δίσκος σκουληκιών, ενώ ο δίσκος που αναζητήθηκε περισσότερο στη συνθήκη μεγάλης καθυστέρησης ήταν ο δίσκος κουκουναριών

## **Χρονοδιάγραμμα**

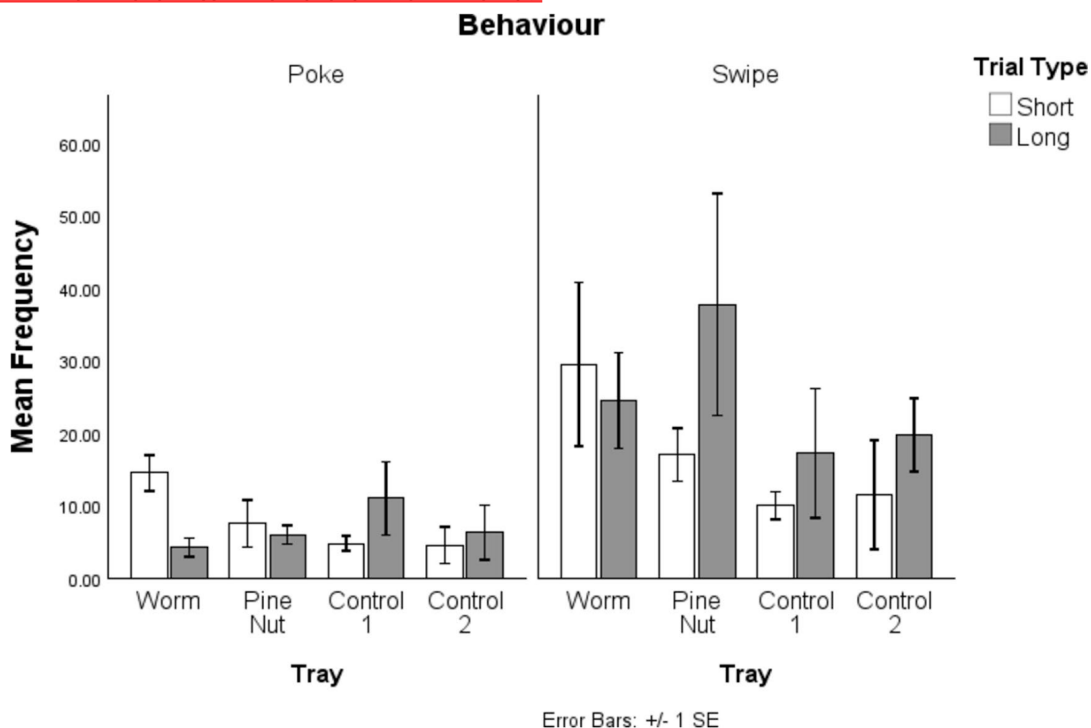
Η οπτικοποίηση του συνόλου των αναζητήσεων (Εικ. 6) αποκάλυψε τη χρονική δυναμική της συμπεριφοράς των πτηνών. Στις δοκιμές μικρής καθυστέρησης, παρατηρήθηκε μια γρήγορη αρχική αύξηση και άμεση σταθεροποίηση (πλατό) στις αναζητήσεις στους δίσκους τροφής, με τον δίσκο των σκουληκιών να ερευνάται τυπικά πρώτος και να δέχεται τις περισσότερες συνολικές αναζητήσεις. Αντίθετα, οι δίσκοι ελέγχου έδειξαν πιο αργή, καθυστερημένη και λιγότερο έντονη δραστηριότητα. Στις δοκιμές μεγάλης καθυστέρησης, διατηρήθηκε γενικά το μοτίβο της γρήγορης αρχικής αύξησης για τους δίσκους τροφής και της καθυστερημένης/σταδιακής αύξησης για τους δίσκους ελέγχου. Ωστόσο, σε αντίθεση με τη μικρή καθυστέρηση, δεν υπήρξε σταθερή τάση στο ποιος δίσκος συγκέντρωσε τελικά τις περισσότερες αναζητήσεις (με μόνο 2 από τα 4 πτηνά να προτιμούν συνολικά τα κουκουνάρια). Τέλος, καταγράφηκε σημαντική ατομική διακύμανση μεταξύ των πτηνών, με ορισμένα υποκείμενα να είναι πολύ πιο ενεργά στην αναζήτηση από άλλα.



**Εικόνα 6: Κατανομή αναζήτησης κατά τη διάρκεια της περιόδου ανάκτησης των 20 λεπτών.** Οι έντονες μαύρες γραμμές αντιπροσωπεύουν αναζητήσεις στον δίσκο με τα σκουλήκια, οι λεπτές διακεκομμένες γραμμές (που μπορεί να φαίνονται γκρι) αντιπροσωπεύουν αναζητήσεις στον δίσκο με τα κουκουνάρια. Οι διακεκομμένες γραμμές (παύλες) και οι γραμμές παύλα-τελεία αντιπροσωπεύουν αναζητήσεις στους δίσκους ελέγχου.

## Τύπος αναζήτησης

Στο πλαίσιο της διερεύνησης της συμπεριφοράς αναζήτησης, εστιάσαμε στη διάκριση μεταξύ δύο τύπων κινήσεων: των στοχευμένων «καρφωμάτων» (pokes) και των ευρύτερων «σαρώσεων» (swipes). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα πτηνά εκτελούσαν αριθμητικά περισσότερες σαρώσεις από ό,τι καρφώματα, μια τάση που έγινε στατιστικά σημαντική ( $p=0.046$ ) και εντονότερη στη συνθήκη της μεγάλης καθυστέρησης, όπου η διαφορά μεταξύ των δύο συμπεριφορών άνοιξε σημαντικά (αλληλεπίδραση Probe  $\times$  Delay,  $p=0.016$ ). Παρόλο που και με τους δύο τύπους κίνησης τα πουλιά έψαξαν περισσότερο στους δίσκους με τροφή έναντι των δίσκων ελέγχου, αυτό το γενικό εύρημα δεν ήταν στατιστικά σημαντικό. Ωστόσο, η ξεχωριστή ανάλυση (RMANOVA) για κάθε τύπο κίνησης αποκάλυψε μια κρίσιμη λεπτομέρεια: στα «καρφώματα» (pokes) εντοπίστηκε μια σημαντική αλληλεπίδραση Καθυστέρησης  $\times$  Δίσκου ( $p=0.008$ ), η οποία κατέδειξε ότι τα πουλιά χρησιμοποιούσαν αυτή τη στοχευμένη κίνηση κατά κύριο λόγο για να ανακτήσουν τα σκουλήκια στη μικρή καθυστέρηση. Αντιθέτως, οι σαρώσεις (swipes) δεν εμφάνισαν καμία στατιστικά σημαντική επίδραση ή αλληλεπίδραση με τον χρόνο ή τον δίσκο, υποδηλώνοντας ότι αποτελούν μια πιο γενικευμένη ή τυχαία μορφή εξερεύνησης.



**Εικόνα 7:** Συμπεριφορές αναζήτησης Poke (αριστερά) και Swipe (δεξιά) σε όλους τους τέσσερις δίσκους και τις δύο συνθήκες. Υπάρχουν συνολικά περισσότερα swipes από pokes, και τα δύο δείχνουν προτίμηση για τον δίσκο σκουληκιών συγκεκριμένα στη συνθήκη μικρής καθυστέρησης.

**Πίνακας 1:** Μέσος όρος (M) και τυπική απόκλιση (SD) για τον αριθμό των «rokes» (σκουνημάτων) και «swipes» (σαρώσεων) σε κάθε συνθήκη, μαζί με τα αποτελέσματα του τεστ RMANOVA που συγκρίνουν τις διαφορές μεταξύ των συνθηκών.

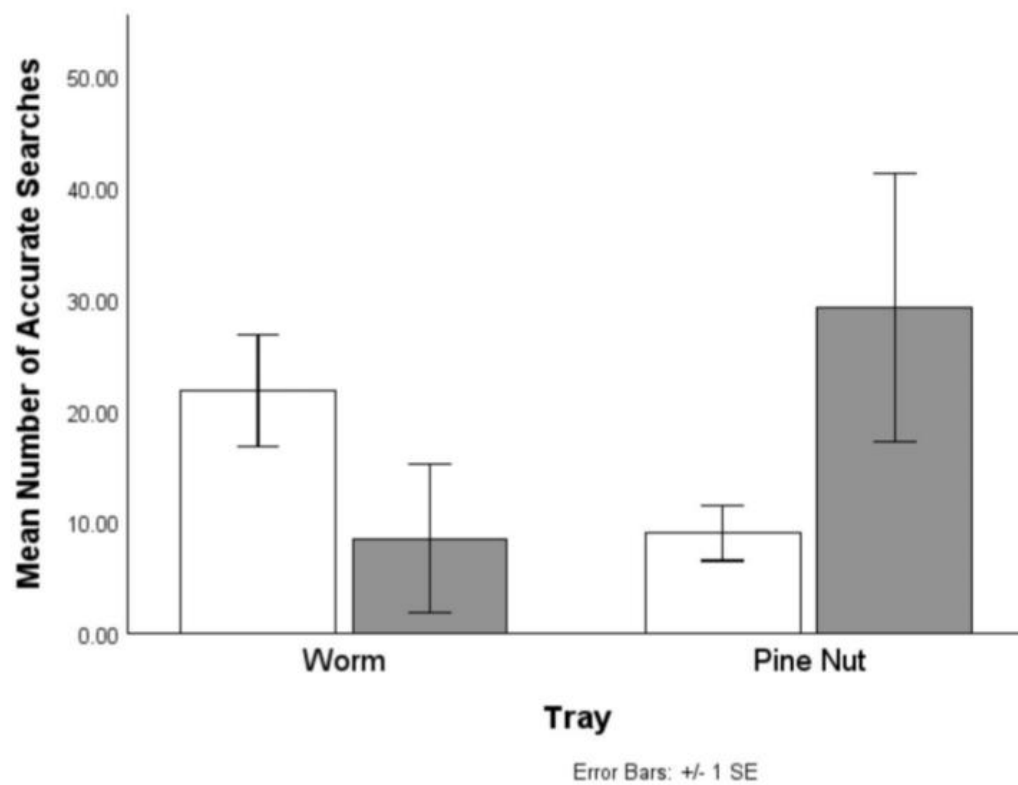
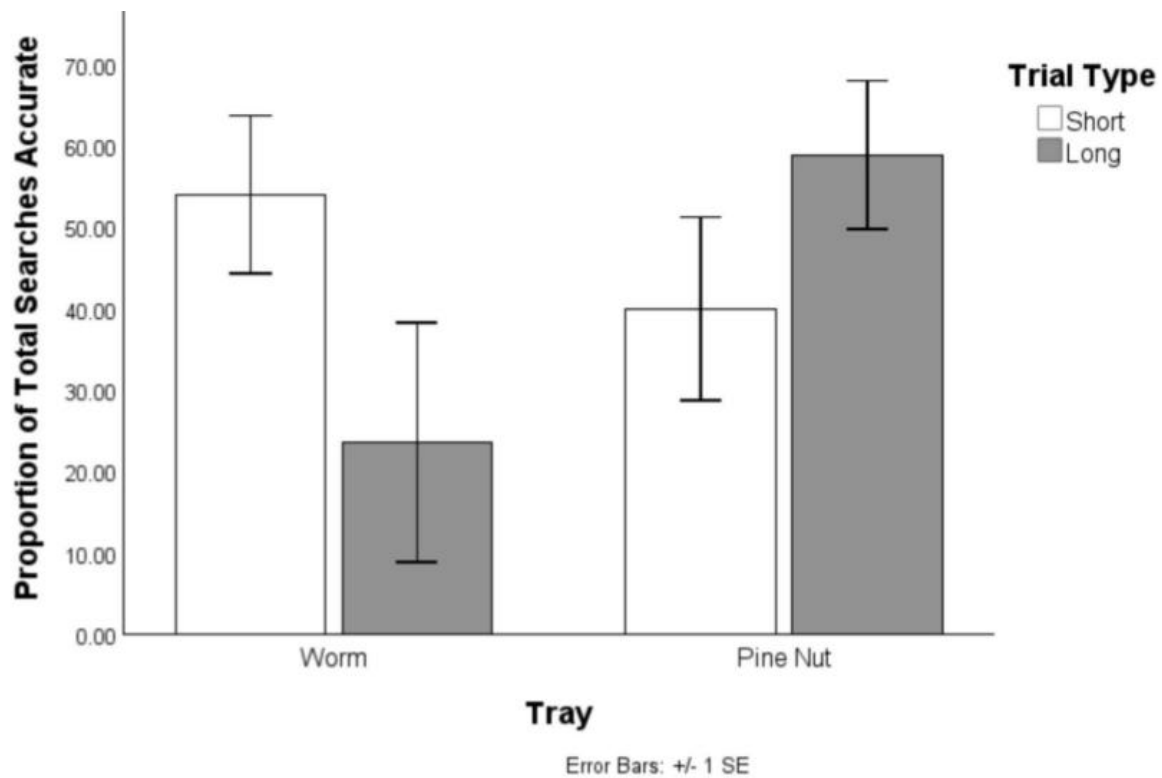
|                      | “Κάρφωμα” M (SD)         | “Σάρωση” M (SD)          | Διαφορά<br>(“Κάρφωμα” vs<br>“Σάρωση”)<br>(RMANOVA)                          |
|----------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Μικρή Καθυστέρηση    | 31,25 (78,96)            | 68 (27,82)               | F(1,3)=5,693,<br>p=0,097                                                    |
| Μεγάλη Καθυστέρηση   | 27,5 (18,66)             | 99,25 (51,54)            | F(1,3)=10,534,<br>p=0,048                                                   |
| Σύνολο               | 58,75 (23,49)            | 167,25 (78,96)           | F(1,3)=8,406,<br>p=0,063                                                    |
| Διαφορά<br>(RMANOVA) | F(1,3)=0,168,<br>p=0,709 | F(1,3)=6,231,<br>p=0,088 | Αλληλεπίδραση<br>(Συμπεριφορά/Καθυ<br>στέρηση)<br>F(1,3)=23,786,<br>p=0,016 |

**Πίνακας 2** Μέσος όρος και τυπική απόκλιση για την ακρίβεια αναζήτησης μεταξύ δίσκων και συνθηκών.

| Συνθήκες           | Δίσκος     | Ακρίβεια Μέσου<br>Όρου (%) | Τυπική Απόκλιση<br>(SD) |
|--------------------|------------|----------------------------|-------------------------|
| Μικρή Καθυστέρηση  | Σκουλήκι   | 53,99                      | 19,36                   |
|                    | Κουκουνάρι | 39,95                      | 22,50                   |
|                    | Σύνολο     | 46,97                      | 20,83                   |
| Μεγάλη Καθυστέρηση | Σκουλήκι   | 23,55                      | 29,43                   |
|                    | Κουκουνάρι | 58,85                      | 18,17                   |
|                    | Σύνολο     | 41,20                      | 29,47                   |

## **Χωρική ακρίβεια αναζήτησης**

Σε αυτό το τμήμα της μελέτης, εμβαθύνουμε στην ποιότητα της μνήμης των πτηνών, εξετάζοντας τη χωρική ακρίβεια (spatial accuracy) σε επίπεδο συγκεκριμένου κελιού και όχι απλώς σε επίπεδο δίσκου. Συγκρίνοντας τις αναζητήσεις που έγιναν σε κελιά με κρυμμένη τροφή (cached-in) έναντι των άδειων κελιών (uncached-in), διαπιστώθηκε ότι τα πτηνά διέθεταν αξιοσημείωτη ακρίβεια, καθώς το 40–50% των συνολικών τους αναζητήσεων στόχευε ακριβώς στα κελιά που περιείχαν τροφή, ποσοστό που παρέμεινε σταθερό τόσο στη μικρή όσο και στη μεγάλη χρονική καθυστέρηση. Αν και η οπτική επισκόπηση των δεδομένων (Εικ. 8) απέδειξε ότι η ακρίβεια αυτή μεταβαλλόταν ανάλογα με τη συνθήκη και τον δίσκο, η στατιστική ανάλυση (RMANOVA) δεν έδειξε κάποια σημαντική κύρια επίδραση του χρόνου ( $p=0.689$ ) ή του δίσκου ( $p=0.423$ ) μεμονωμένα. Ωστόσο, εντοπίστηκε μια αλληλεπίδραση (interaction) που πλησίασε τα όρια της στατιστικής σημαντικότητας (τάση με  $p=0.057$  για το ποσοστό ακρίβειας και  $p=0.074$  για τον απόλυτο αριθμό σωστών αναζητήσεων). Αυτό το οριακό εύρημα υποδηλώνει ότι υπάρχει μια τάση η χωρική ακρίβεια των πτηνών να ρυθμίζεται από την ελκυστικότητα της τροφής: τα πτηνά έτειναν να είναι πιο ακριβή στον εντοπισμό των σκουληκιών όταν ήταν φρέσκα και των κουκουναριών όταν τα σκουλήκια είχαν χαλάσει, παρόλο που το μικρό δείγμα της έρευνας δεν επέτρεψε την πλήρη στατιστική επιβεβαίωση αυτού του μοτίβου.



Εικόνα 8: Πάνω: Μέση αναλογία των συνολικών αναζητήσεων που ήταν ακριβείς

(κατευθυνόμενες σε κελιά με αποθηκευμένη τροφή) σε κάθε δίσκο και συνθήκη. Κάτω: Μέσος συνολικός αριθμός ακριβών αναζητήσεων.

## **Συζήτηση**

Τα δεδομένα της παρούσας μελέτης παρουσιάζουν τη συμπεριφορά ανάκτησης κρύπτης τεσσάρων κισσών σε μια δοκιμασία μνήμης «τι-πού-πότε», με στόχο την αναπαραγωγή προηγούμενων αποτελεσμάτων (π.χ. Clayton & Dickinson, 1998) αλλά με την προσθήκη αυστηρότερων ελέγχων και βαθύτερης ανάλυσης των συμπεριφορικών δεδομένων. Το γενικό μοτίβο των αποτελεσμάτων επιβεβαίωσε τις προηγούμενες μελέτες, δείχνοντας ότι οι κίσσες έψαχναν περισσότερο για τα αγαπημένα τους σκουλήκια στη συνθήκη της μικρής καθυστέρησης. Ωστόσο, ο σχεδιασμός αυτής της έρευνας διέφερε σημαντικά χάρη στην προσθήκη δύο «δίσκων ελέγχου» (άδειων), γεγονός που αύξησε τη δυσκολία της απομνημόνευσης και επέτρεψε την ανεξαρτησία των δεδομένων, μειώνοντας παράλληλα το κατώφλι της τυχαίας επιτυχίας στο 0,25.

Η καινοτομία αυτή επέτρεψε την κατάρριψη παλαιότερων κριτικών (π.χ. Suddendorf & Corballis, 2010) που απέδιδαν την αλλαγή συμπεριφοράς στην απλή εξασθένηση του ίχνους μνήμης. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε ότι στη συνθήκη μεγάλης καθυστέρησης δεν υπήρξε απλώς μείωση του ενδιαφέροντος για τα σκουλήκια, αλλά μια ταυτόχρονη, ενεργητική αύξηση των αναζητήσεων στον δίσκο με τα κουκουνάρια, ειδικά κατά τα πρώτα 3 λεπτά της δοκιμασίας, χωρίς αντίστοιχη αύξηση στους δίσκους ελέγχου. Αναλύοντας το χρονοδιάγραμμα της συμπεριφοράς, διαπιστώθηκε ότι οι δίσκοι με τροφή εξερευνώνται νωρίτερα, ενώ οι δίσκοι ελέγχου προσελκύουν το ενδιαφέρον αργότερα, υποδηλώνοντας ότι οι αρχικές κινήσεις αφορούν στοχευμένη ανάκτηση μνήμης και οι μεταγενέστερες γενική εξερεύνηση.

Επιπλέον, η διάκριση των τύπων αναζήτησης σε «καρφώματα» (rokes) και «σαρώσεις» (swipes) πρόσφερε σημαντικά ευρήματα. Οι σαρώσεις, που θεωρούνται πιο εξερευνητικές κινήσεις, ήταν συχνότερες συνολικά και αυξήθηκαν ιδιαίτερα στη συνθήκη μεγάλης καθυστέρησης, πιθανώς λόγω της υποβάθμισης της μνήμης και της αυξημένης αβεβαιότητας. Αντίθετα, τα «καρφώματα» αποδείχθηκαν πιο στοχευμένα και έδειξαν σημαντική στατιστική συσχέτιση με τις πληροφορίες «τι-πού-πότε», ειδικά για την ανάκτηση σκουληκιών στη μικρή καθυστέρηση. Αυτό υποδεικνύει ότι τα rokes λειτουργούν ως δείκτης «υψηλής αυτοπεποίθησης», παρόμοια με τη διάκριση που γίνεται στην ανθρώπινη μνήμη ανάμεσα στη σιγουριά και τη μαντεψιά. Τέλος, αν και τα αποτελέσματα για τη χωρική ακρίβεια ήταν οριακά μη στατιστικά σημαντικά, υπήρξε μια ξεκάθαρη τάση οι ακριβείς αναζητήσεις (σε επίπεδο συγκεκριμένου κελιού) να ρυθμίζονται από την τρέχουσα επιθυμία για την τροφή. Συμπερασματικά, η μελέτη επιβεβαιώνει ότι οι κίσσες ρυθμίζουν τη συμπεριφορά τους βάσει πληροφοριών «τι-πού-πότε», κάτι που γίνεται ιδιαίτερα εμφανές όταν εστιάζουμε σε συμπεριφορές που δηλώνουν στοχευμένη ανάκτηση κρύπτης και όχι γενική εξερεύνηση.

## **Περίληψη και Συμπεράσματα**

Είκοσι επτά χρόνια μετά την αρχική ανακάλυψη των Clayton και Dickinson σχετικά με την ύπαρξη μνήμης τύπου επεισοδιακής στις κίσσες, το παράδειγμα «τι-πού-πότε» εξακολουθεί να αποτελεί πηγή έμπνευσης για την επιστημονική κοινότητα, επεκτείνοντας την έρευνα σε πολλά διαφορετικά είδη και πλαίσια. Ωστόσο, η παρούσα μελέτη αποδεικνύει ότι ακόμη και η επιστροφή στο αρχικό πλαίσιο μελέτης —τη συμπεριφορά ανάκτησης κρύπτης στις δυτικές κίσσες— μπορεί να προσφέρει νέες, σημαντικές γνώσεις. Τα ευρήματα της εργασίας υποδεικνύουν ότι η εστίαση σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές και τύπους συμπεριφοράς, οι οποίες είναι πιθανότερο να αφορούν στοχευμένη ανάκτηση κρύπτης, αποκαλύπτει με μεγαλύτερη σαφήνεια τον τρόπο με τον οποίο η κίσσα ρυθμίζει τη διερεύνησή της βάσει της τρέχουσας ελκυστικότητας της τροφής, όπως αυτή καθορίζεται από το τι αποθηκεύτηκε, πού και πότε. Τα δεδομένα αυτά λειτουργούν ως «απόδειξη της αρχής» (proof of concept), καταδεικνύοντας ότι η συμπερίληψη τέτοιων λεπτομερών μεταβλητών είναι όχι μόνο εφικτή, αλλά παράγει πιο πλούσια, καθαρά και ερμηνεύσιμα αποτελέσματα, καθιστώντας αναγκαία τη χρήση τους σε μελλοντικές έρευνες. Τέλος, η μελέτη αυτή παρέχει πρόσθετη σιγουριά και ενισχύει την εγκυρότητα των παλαιότερων ευρημάτων, επιβεβαιώνοντας ότι οι δυτικές κίσσες διαθέτουν πράγματι μνήμη τύπου επεισοδιακής.

## **Βιβλιογραφία**

Worsfold E, Clayton NS, Cheke LG. Revisiting episodic-like memory in scrub jays: Is there more we can still learn from what-where-when caching behaviour? *Learn Behav.* 2025 Mar;53(1):65-79. doi: 10.3758/s13420-024-00665-w. Epub 2025 Jan 8. PMID: 39779656; PMCID: PMC11880068.