

Ακουστο-απτική διέγερση και αισθησιοκινητικός συγχρονισμός: μία μουσική διδακτική παρέμβαση

Παπαδόγιαννη-Κουραντή Μάρθα ^{1,*}, Μπακογιάννης Κωνσταντίνος¹,
Αναγνωστοπούλου Χριστίνα¹, Ανδρεοπούλου Αρετή ¹

¹Τμήμα Μουσικών Σπουδών Φιλοσοφικής Σχολής ΕΚΠΑ
*marthapapadogianni@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα έρευνα εξετάζει τις πιθανές επιδράσεις μίας διτροπικής παρέμβασης που ενσωματώνει την απτική διέγερση στη μουσική διδασκαλία. Υποθέτοντας ότι η εφαρμογή των πρόσθετων μουσικών δονήσεων δύναται να ενισχύει την ικανότητα συγχρονισμού των παιδιών, αξιολογείται ποσοτικά η αισθησιοκινητική ικανότητά τους να ακολουθούν μετρονομικούς παλμούς. Στην έρευνα συμμετείχαν 60 παιδιά δημοτικού, ηλικίας 8 έως 10 ετών, τα οποία μοιράστηκαν σε μία πειραματική ομάδα και μία ομάδα ελέγχου. Το ερευνητικό ενδιαφέρον εστιάζει στην σύγκριση της αισθησιοκινητικής απόδοσης των παιδιών. Παράλληλα, εξετάζεται η ακρίβεια και η ταχύτητα του συγχρονισμού των παιδιών σε σχέση με την ηλικία τους. Τα αρχικά αποτελέσματα έδειξαν ότι η απτική διέγερση δεν επηρέασε σημαντικά την ικανότητα συγχρονισμού. Η ηλικία φαίνεται να επιδρά σημαντικά, με τα μεγαλύτερα παιδιά να εμφανίζουν υψηλότερη ακρίβεια και συνέπεια σε όλες τις δοκιμασίες.

Auditory-tactile stimulation and sensorimotor synchronization: an educational music intervention

ABSTRACT

The present study focuses on the possible impacts of a bimodal music training intervention, by integrating tactile stimulation in the music class, hypothesizing that sound vibrations would affect positively the sensorimotor synchronization capacity of children. In order to examine this effect, all children completed a kinesthetic assessment tool in which they should synchronize their drumming with metronomic clicks. Sixty children between 8 and 10 years old were recruited from a primary school in Athens, divided into one control- and one experimental group. Research focused on the synchronization performances between groups, as well as on synchronization accuracy and speed, controlling for age effects. The preliminary results showed non significant effects of the intervention on children's synchronization performance. On the other hand, age was a significant factor. Older children presented significantly greater accuracy and consistency in all tasks.

Εισαγωγή

Το μουσικό βίωμα είναι από την φύση του πολυαισθητηριακό, ενεργοποιώντας διαφορετικά συστήματα, όπως το ακουστικό και το σωματοαισθητικό [1]. Οι ηχητικές πληροφορίες που λαμβάνει το ανθρώπινο σώμα συνοδεύονται από δονήσεις, επηρεάζοντας την αντίληψη ποικίλων χαρακτηριστικών του ήχου, όπως η ένταση, η συχνότητα και η διάρκεια [2]. Ο ανθρώπινος οργανισμός αντιδρά αυθόρμητα στα ηχητικά ερεθίσματα που χαρακτηρίζονται από έναν εγγενή παλμό. Η αντίδραση αυτή προσδιορίζεται με τον όρο *αισθησιοκινητικός συγχρονισμός*, και περιγράφει την ικανότητά μας να συντονίζουμε την κίνησή μας με τον παλμό ενός ηχητικού ερεθίσματος [3]. Η παλμική κίνηση μπορεί να είναι κίνηση ενός δακτύλου, το χτύπημα της παλάμης, χτύπημα με μπαγκέτα ή ακόμη και συγχρονισμός των κάτω άκρων. Η σωματική αντίδραση ενεργοποιείται με τη συμμετοχή ακουστικών και κινητικών περιοχών που βρίσκονται στον σωματοαισθητικό εγκεφαλικό φλοιό και αλληλεπιδρούν [4]. Ενώ μέχρι την ηλικία των 7 ετών τα περισσότερα παιδιά μπορούν να αντιληφθούν τον παλμό ενός ηχητικού ερεθίσματος στο επίπεδο ενός ενήλικα χωρίς μουσική εκπαίδευση, ο αισθησιοκινητικός συγχρονισμός, περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα κινητικών δεξιοτήτων που παρουσιάζουν διαφορετικούς ρυθμούς ανάπτυξης. Η αισθησιοκινητική ικανότητα συνεχίζει να αναπτύσσεται μέχρι και την ηλικία των 12 ετών όπου, δίχως μουσική εμπειρία ή εκπαίδευση, η ατομική απόδοση διατηρείται στην ενήλικη ζωή μας ([5],[6],[7]).

Με αφετηρία τις πολυτροπικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ ακουστικών και απτικών ερεθισμάτων και τη συμμετοχή του ακουστικού και σωματοαισθητικού φλοιού όπου εντοπίζονται και κινητικές περιοχές, η παρούσα έρευνα εξετάζει τις πιθανές επιδράσεις μίας διτροφικής μουσικής παρέμβασης, στην αισθησιοκινητική και άρρηκτα συνδεδεμένη με την αντίληψη του παλμού σωματική μας αντίδραση να ακολουθούμε τον παλμό που “νιώθουμε” [8]. Η έρευνα επικεντρώνεται στην ικανότητα συγχρονισμού με χτύπημα μπαγκέτας, καθώς προηγούμενες έρευνες μελετούν κυρίως χτύπημα του δείκτη ή κίνηση ολόκληρου του σώματος [9].

1. Μεθοδολογία

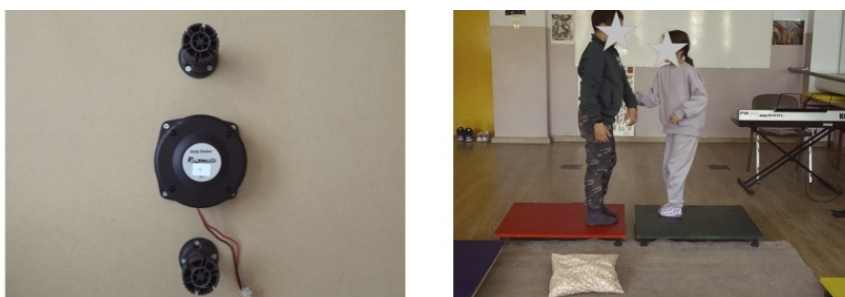
Η παρούσα μελέτη αποτελεί μέρος μίας μεγαλύτερης έρευνας που σχεδιάστηκε με πρότυπο τη μεθοδολογία της έρευνας μεικτών μεθόδων, συνδέοντας ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα. Στην έρευνα συμμετείχαν 60 παιδιά, 8 έως 10 ετών, από δημοτικό σχολείο της Αθήνας. Το σύνολο των παιδιών κατανεμήθηκε σε μία πειραματική ομάδα και μία ομάδα ελέγχου, ακολουθώντας τη μέθοδο 2-group-Controll-group design. Σκοπός της έρευνας ήταν να εξετάσει αν η πειραματική ομάδα παρουσίασε μεγαλύτερη βελτίωση απόδοσης σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου. Εδώ παρουσιάζονται ποσοτικά δεδομένα τα οποία αντλήθηκαν από την αξιολόγηση της ικανότητας συγχρονισμού των παιδιών. Ως ανεξάρτητες μεταβλητές ορίζονται η παρέμβαση (με/χωρίς δονήσεις) και η ηλικία και ως εξαρτημένη μεταβλητή οι κιναισθητικές επιδόσεις των παιδιών. Τα παιδιά ολοκλήρωσαν τη δοκιμασία τρεις φορές: πριν την παρέμβαση, στη διάρκειά της και στο τέλος της έρευνας.

1.1 Διδακτική παρέμβαση

Η διδακτική προσέγγιση επικεντρώθηκε στην αντίληψη του παλμού και τον αισθησιοκινητικό συγχρονισμό, ενώ παράλληλα ολοκληρώθηκε και ένα ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων, όπως ακουστικές ασκήσεις, κρουστά σώματος, τραγούδι, αφήγηση ιστοριών, αυτοσχεδιασμός, μουσική επιτέλεση και μουσικά παιχνίδια. Η παρέμβαση ακολούθησε έναν κορμό δεκαέξι διδακτικών ωρών (45λεπτά) που ομαδοποιήθηκαν σε δύο περιόδους (8+8) μουσικής εκπαίδευσης.

1.2 Πειραματικό σύστημα

Για τη μεταφορά των απτικών ερεθισμάτων κατασκευάστηκε ένα σύστημα με τη μορφή πατώματος [10], το οποίο τοποθετήθηκε στην τάξη της Μουσικής Αγωγής. Το πάτωμα αποτελείται από ένα σύνολο επιφανειών μοριοσανίδας, οι οποίες λειτούργησαν και ως καθίσματα. Κάτω από κάθε επιφάνεια εφάπτεται μία συσκευή μεταφοράς χαμηλών συχνοτήτων (Body Shaker Rockwood BS 301-L, 4 Ω) με μέγιστη απόκριση στο εύρος 5-100 Hz [Σχήμα 1.1]. Κάποια ηχητικά παραδείγματα επεξεργάζονταν real-time μέσω ανοιχτών λογισμικών (Reaper, Pure Data), ενώ άλλα δημιουργήθηκαν με τα ίδια προγράμματα πριν την έναρξη της έρευνας.



Σχήμα 1.1 (α)εφαπτόμενη συσκευή μεταφοράς χαμηλών συχνοτήτων, (β) επιφάνειες πειραματικού συστήματος

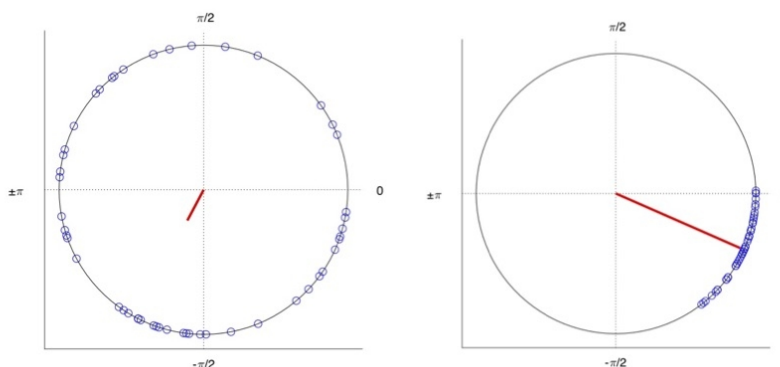
1.3 Πειραματική διαδικασία

Το κιναισθητικό μέρος διαρκεί 15 λεπτά και εξετάζει την ικανότητα συγχρονισμού των παιδιών σε δύο διαφορετικές καταστάσεις: μετρονόμο και μουσικά αποσπάσματα με απλό ή μικτό μέτρο. Η δοκιμασία αξιολόγησης της ικανότητας συγχρονισμού που επιλέχθηκε είναι το κιναισθητικό μέρος του εργαλείου Complex Beat Alignment Tapping Test – cBATT [11]. Όλα τα παιδιά ολοκλήρωσαν το πείραμα ατομικά, χτυπώντας με μία μπαγκέτα σε ένα ηλεκτρονικό τύμπανο (Percpad Alesis). Τα χτυπήματα της μπαγκέτας ηχογραφούνταν ως MIDI αρχεία μέσω του Reaper v6.0. Αρχικά, κλήθηκαν να χτυπήσουν έναν αυθόρμητο, σταθερό παλμό (χωρίς εξωτερικό ερέθισμα) για 30 δευτερόλεπτα. Στη συνέχεια,

εμφανίζονταν με τυχαία σειρά τρεις διαφορετικοί μετρονόμοι 80 BPM, 100 BPM και 120 BPM και τα παιδιά έπρεπε να ακολουθήσουν τον εκάστοτε παλμό. Κάθε μετρονομικός κτύπος είχε διάρκεια 20ms, και τα παιδιά όριζαν την έντασή τους.

2. Αποτελέσματα

Στο πρώτο στάδιο ανάλυσης των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι η μεταβλητότητα στα δεδομένα συγχρονισμού ήταν μεγάλη. Πιο συγκεκριμένα, κάποια παιδιά έδιναν πολλαπλά χτυπήματα ανάμεσα σε δύο παλμούς αναφοράς και υπήρξαν περιπτώσεις που το χτύπημα απουσίαζε. Ενώ ζητήθηκε να ακολουθήσουν ως βάση τη μονάδα χρόνου του τετάρτου, πολλά παιδιά χτυπούσαν όγδοα, παραβιάζοντας την σχέση 1:1 με τον μετρονόμο. Οι διαφορές αυτές οδήγησαν στην αναζήτηση μίας εναλλακτικής στατιστικής. Σε έρευνες φαινομένων, όπου τα δεδομένα χαρακτηρίζονται από μία περιοδικότητα, οι μέθοδοι κυκλικής στατιστικής προσφέρουν τη δυνατότητα ανάλυσης και ερμηνείας αποτελεσμάτων που μπορεί να χαρακτηρίζονται από εξαιρετική ακρίβεια ή ασυνέπεια στην ικανότητα συγχρονισμού ([11],[12]). Για την κυκλική ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η εργαλειοθήκη CircStat του λογισμικού MATLAB [12]. Κάθε απόκριση της μαπακέτας παρουσιάζεται σαν σημείο στην περιφέρεια ενός μοναδιαίου κύκλου με αριστερόστροφη φορά. Σε κάθε χτύπημα αντιστοιχεί ένα μέσο διάνυσμα, που περιγράφεται από το μήκος διανύσματος R και τη γωνία θ . Το μήκος R κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1 και είναι δείκτης συνέπειας και συνοχής των χτυπημάτων. Η γωνία θ προσδιορίζει την ακρίβεια συγχρονισμού και το κατά πόσον το χτύπημα έγινε πριν (+) ή μετά (-) τον παλμό αναφοράς (Σχήμα 2.1).

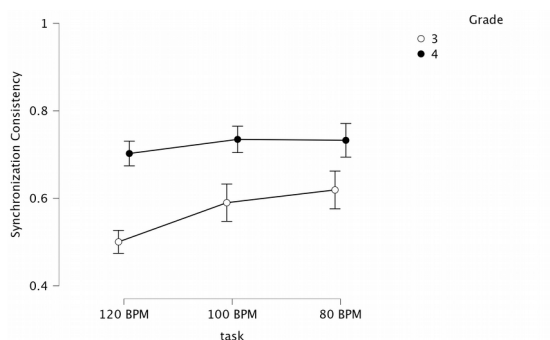


Σχήμα 2.1 Ελλιπής ($R \approx 0$) και υψηλή ($R \approx 1$) ικανότητα συγχρονισμού

2.1 Συγχρονισμός στον παλμό

Η μέση απόδοση συγχρονισμού αξιολογήθηκε εξαρτώμενη από τον τύπο παρέμβασης (με/χωρίς δονήσεις) και την ηλικία των παιδιών. Ο σχεδιασμός ακολούθησε τη μεθοδολογία σύγκρισης των μέσων με ανάλυση διακύμανσης κατά δύο κριτήρια (two-way ANOVA), τον τύπο παρέμβασης και την ηλικία. Ο τύπος

παρέμβασης δεν είχε σημαντική επίδραση στην συνολική επίδοση των παιδιών. Ωστόσο, η ανάλυση έδειξε ότι η ηλικία ήταν στατιστικά σημαντικός παράγοντας επιρροής στην ικανότητα συγχρονισμού και το μέγεθος της επίδρασης ήταν υψηλό (Σχήμα 2.2).



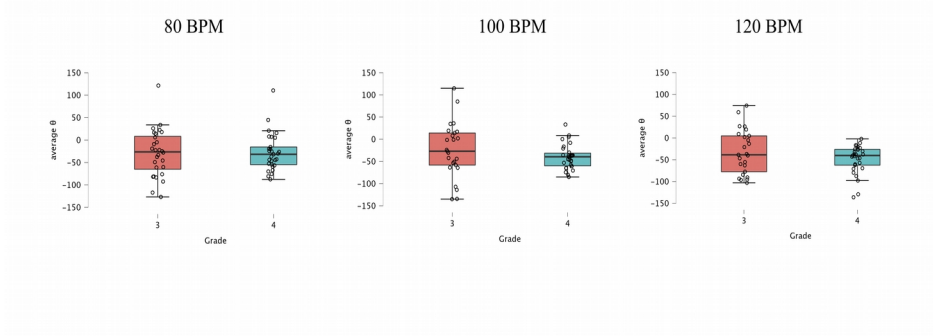
Σχήμα 2.2 Μέσες τιμές της συνέπειας και συνοχής στον παλμό (mean vector R) για κάθε ηλικιακή ομάδα στους 3 διαφορετικούς μετρονόμους

Τα μεγαλύτερης ηλικίας παιδιά (9-10 ετών) παρουσίασαν υψηλότερη ακρίβεια συγχρονισμού και η συνοχή των χτυπημάτων της μπαγκέτας ήταν μεγαλύτερη (Πίνακας 2.1).

Πίνακας 2.1 Ανάλυση Διακύμανσης Μέσης Απόδοσης Συγχρονισμού με ανεξάρτητους παράγοντες ηλικία και τύπο παρέμβασης

Tempo BPM	μέτρηση	F	p	η^2
120	πρώτη	5.31	0.03	0.19
	δεύτερη	24.28	<.001	0.41
	τρίτη	4.22	0.05	0.09
100	πρώτη	5.83	0.02	0.23
	δεύτερη	4.1	0.05	0.14
	τρίτη	7.64	0.01	0.16
80	πρώτη	3.02	0.09	0.11
	δεύτερη	11.95	<.001	0.24
	τρίτη	15.66	<.001	0.29

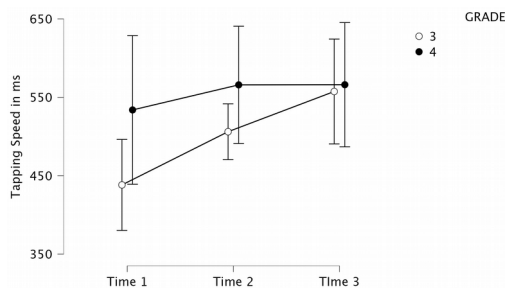
Οι τιμές για τη διανυσματική γωνία θ χαρακτηρίζονται από έντονη διαφοροποίηση, παρουσιάζοντας μία τάση τα παιδιά να χτυπούν μετά την ακρόαση των μετρονομικών κλικς. Προκειμένου να συγκριθούν οι μέσες τιμές θ διεξήχθησαν ανεξάρτητες αναλύσεις διακύμανσης κυκλικών δεδομένων (circular ANOVAs). Η ανάλυση δεν έδειξε σημαντικές επιδράσεις του τύπου παρέμβασης και της ηλικίας στην ακρίβεια συγχρονισμού. Επιπλέον δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών.



Σχήμα 2.3 Μέσες τιμές της ακρίβειας συγχρονισμού θ για κάθε ηλικιακή ομάδα στους 3 διαφορετικούς μετρονόμους

2.2 Συσχέτιση αυθόρμητου παλμού και απόδοσης συγχρονισμού

Στο μέρος του αυθόρμητου χτυπήματος απουσίαζε κάποιο ακουστικό ερέθισμα. Για την αξιολόγηση των δεδομένων υιοθετήθηκε ένα σχέδιο γραμμικής ανάλυσης, όπως περιγράφεται στο [13]. Η συνέπεια και η μεταβλητότητα των χτυπημάτων των παιδιών ήταν παρόμοια, ανεξάρτητα από την ηλικία και την ερευνητική παρέμβαση.



Σχήμα 2.4 Μέσες τιμές της ταχύτητας του αυθόρμητου παλμικού χτυπήματος των παιδιών για κάθε ηλικιακή ομάδα στις 3 διαφορετικές μετρήσεις

Συνολικά, η ταχύτητα απόδοσης των μεγαλύτερων παιδιών ήταν πιο αργή (555.33 ms/108 BPM) σε σύγκριση με την ταχύτητα των παιδιών μικρότερης ηλικίας (500.6 ms /120 BPM). Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με παλαιότερα ευρήματα, που υποστηρίζουν ότι η ταχύτητα του αυθόρμητου χτυπήματος τείνει να μειώνεται όσο αυξάνεται η ηλικία [11].

3. Επίλογος

Το παρόν πείραμα διερεύνησε την ικανότητα συγχρονισμού παιδιών 8 έως 10 ετών, εστιάζοντας στην ακρίβεια και την συνέπεια των χτυπημάτων τους σε σχέση με τρία εξωτερικά ακουστικά ερεθίσματα μετρονομικών παλμών. Η βασική υπόθεση ότι η απτική διέγερση θα βελτιώσει σημαντικά περισσότερο την αισθησιοκινητική ικανότητα των παιδιών της πειραματικής ομάδας δεν επιβεβαιώθηκε. Η ανάλυση των δεδομένων, έδειξε η πλειοψηφία των παιδιών δεν χτυπούσε τυχαία, ωστόσο η μεταβλητότητα των χτυπημάτων ήταν πολύ μεγάλη αναχαιτίζοντας τη γενικεύση των αποτελεσμάτων. Τα ευρήματα αυτά ενισχύουν την άποψη ότι ενώ ήδη από την ηλικία των 7 ετών η αντίληψη του παλμού έχει αναπτυχθεί στο υψηλότερο επίπεδο, οι αισθησιοκινητικές δεξιότητες συγχρονισμού εξελίσσονται προοδευτικά μέχρι την ηλικία των 12 ετών [15]. Η παρέμβαση δεν είχε στατιστικά σημαντική επίδραση στην ακρίβεια και την συνέπεια συγχρονισμού, καθώς τα παιδιά και από τις δύο ερευνητικές ομάδες εμφάνισαν κοινή πρόοδο στη μέση απόδοσή τους. Η βελτίωση στην απόδοση μπορεί να αποδοθεί στη διδακτική προσέγγιση, επικυρώνοντας ευρήματα ότι μουσικές δεξιότητες σχετικές με τον χρόνο ωφελούνται από μουσικές δραστηριότητες που εστιάζουν στον παλμό ([5], [14],[15],[16]). Μελλοντικά, θα ήταν σημαντικό να συμμετάσχει μία τρίτη ομάδα ελέγχου που θα ολοκληρώσει μία διαφορετική διδακτική προσέγγιση. Επιπλέον η ικανότητα συγχρονισμού μπορεί να αξιολογηθεί με περισσότερα ηχητικά παραδείγματα, τόσο σε επίθεδο μετρονομικών παλμών, όσο και με μουσικά αποσπάσματα. Καθώς η σωματική κίνηση επηρεάζει την αντίληψη του παλμού, στο παρόν πείραμα τα παιδιά κλήθηκαν να είναι καθιστά και να συγχρονίζονται μόνο με την κίνηση της μπαγκέτας. Η εστίαση σε διαφορετικές σωματικές κινήσεις θα μπορούσε να υποστηρίξει την βαθύτερη κατανόηση των αλληλεπιδράσεων που διέπουν τις αισθήσεις της ακοής και της αφής.

Η συγκεκριμένη μελέτη παρείχε αρχικά στοιχεία για την ικανότητα συγχρονισμού στην παιδική ηλικία. Προτείνει την ενσωμάτωση πολυαισθητηριακών προσεγγίσεων στη μουσική εκπαίδευση σε τυπικά και άτυπα εκπαιδευτικά περιβάλλοντα, ώστε, στο δεδομένο μαθησιακό πλαίσιο, να ενισχύεται η αντίληψη βασικών μουσικών χαρακτηριστικών και η ανάπτυξη διαφορετικών αισθησιοκινητικών δεξιοτήτων.

4. Αναφορές

[1] Merchel, S., & Altinsoy, M. E., Psychophysical comparison of the auditory and tactile perception: A survey. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 14(3), 271–283, (2020)

- [2] Giordano, M., Sullivan, J., & Wanderley, M. M., Design of Vibrotactile Feedback and Stimulation for Music Performance. In S. Papetti & C. Saitis (Eds.), *Musical Haptics* (pp. 193–214). Springer International Publishing, (2018).
- [3] Calling, L., Noble, H., & Goswami, U., Neural entrainment and sensorimotor synchronization to the beat in children with developmental dyslexia: an EEG study. *Frontiers in Neuroscience*, 11, 360, (2017).
- [4] Nozaradan, S., Peretz, I., & Mouraux, A. (2012). Selective Neuronal Entrainment to the Beat and Meter Embedded in a Musical Rhythm. *Journal of Neuroscience*, 32(49), 17572–17581, (2012)
- [5] Gauthier, D. and Dunn, R.E., Comparing Two Approaches for Teaching Rhythm Reading Skills to First-Grade Children: A Pilot Study, *Research & Issues in Music Education: Vol.2, No.1, Article4*, (2004).
- [6] Repp, B. H., & Su, Y.-H., Sensorimotor synchronization: A review of recent research (2006-2012). *Psychonomic Bulletin & Review*, 20(3), 403–452, (2013).
- [7] Tierney, A. T., & Kraus, N., The ability to tap to a beat relates to cognitive, linguistic, and perceptual skills. *Brain and Language*, 124(3), 225–231, (2013).
- [8] Novich, S. D., & Eagleman, D. M., Using space and time to encode vibrotactile information: Toward an estimate of the skin’s achievable throughput. *Experimental Brain Research*, 233(10), 2777–2788, (2015).
- [9] Repp, B., Sensorimotor synchronization: A review of the tapping literature. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12, 969–992, (2006b).
- [10] Miura, S., & Sugimoto, M., T-RHYTHM: A System for Supporting Rhythm Learning by Using Tactile Devices. *IEEE International Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education (WMTE '05)*, 264–268, (2005)
- [11] Einarson, K. M., & Trainor, L. J., The Effect of Visual Information on Young Children’s Perceptual Sensitivity to Musical Beat Alignment. *Timing & Time Perception*, 3(1–2), 88–101, (2015).
- [12] Berens, P. CircStat: A *MATLAB* Toolbox for Circular Statistics. *Journal of Statistical Software*, 31(10), (2009).
- [13] Launay, J., Grube, M., & Stewart, L. Dysrhythmia: A specific congenital rhythm perception deficit. *Frontiers in Psychology*, 5, 18, (2014).
- [14] Matthews, T. E., Thibodeau, J. N. L., Gunther, B. P., & Penhune, V. B. (2016). The Impact of Instrument-Specific Musical Training on Rhythm Perception and Production. *Frontiers in Psychology*, 7, 69, (2016)
- [15] Gooding, L., & Standley, J. M., Musical Development and Learning Characteristics of Students: A Compilation of Key Points From the Research Literature Organized by Age. *Update: Applications of Research in Music Education*, (2011)
- [16] Slater, J., Tierney, A., & Kraus, N., At-Risk Elementary School Children with One Year of Classroom Music Instruction Are Better at Keeping a Beat. *PLoS ONE*, 8(10), (2013).