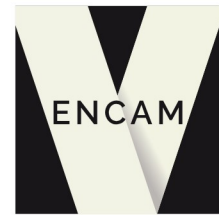




27 A 30 DE MAIO DE 2026

V ENCONTRO DE COGNIÇÃO E ARTES MUSICAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE



Bimanual Synchronization in Pianists: Effects of Finger Homology and Movement Direction during Pentachord Performance

Paloma Felicio Monteiro¹, Maxwell Gentili-Morin², Giordano Gatti³, João Paulo Casarotti⁴, Jefferson Fagundes Loss⁵, Marcelo M. Wanderley⁶, Regina Antunes, Teixeira dos Santos⁷

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ²McGill University, ³Aix-Marseille University,

⁴Glendale Community College, ⁵Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ⁶McGill University,

⁷Universidade Federal do Rio Grande do Sul

palomafeliciomonteiro@hotmail.com, maxwell.gentili-morin@mail.mcgill.ca,
gatti.giordano12@gmail.com, jpcasarotti@gmail.com, jefferson.loss@ufrgs.br,
marcelo.wanderley@mcgill.ca, regina.teixeira@ufrgs.br

ABSTRACT

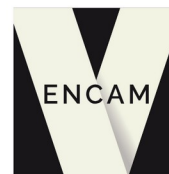
RESEARCH QUESTION/PROBLEM

Temporal synchronization between the hands constitutes a fundamental component of piano performance (Goebel & Palmer, 2013), as it relates to motor organization, fingering choices, and the precision of sound onset. Although the literature widely acknowledges the relevance of bimanual coordination (Goebel, Flossmann, & Widmer, 2010; Swinnen & Wenderoth, 2004; Jabusch, 2006; Furuya & Altenmüller, 2013; Ito et al., 2023), the implications of the anatomical constraints of the fingers for temporal synchronization remain insufficiently investigated. Due to the tendinous organization of the extensor muscles, the fingers do not operate fully independently and are subject to mechanical and neuromuscular dependencies, particularly in tasks requiring extension and force production. In the context of piano performance, the motor challenge lies in developing functional dissociation between the fingers while maintaining temporal precision.

OBJECTIVES

To investigate the effects of homologous and non-homologous fingering on bimanual synchronization during F major pentachord performance, comparing parallel and contrary motion.





METHOD

Two pianists (P1 e P2) participated in the study and performed an F major pentachord under two conditions: parallel and contrary motion. In each condition, 12 repetitions were performed, from which the mean temporal asynchrony was calculated, resulting in a single value per condition and participant. Data were collected via MIDI, allowing for the calculation of asynchrony between the note onsets of the two hands. A script developed for this research identified note attacks and the temporal difference between the hands. Performances were conducted on a digital piano connected to a computer and recorded using Reaper software. Data analysis was performed in MATLAB, and differences between conditions were compared using a t-test, with $p < 0.05$ adopted as the significance level.

RESULTS AND/OR MAIN CONTRIBUTIONS

The results indicated that hand synchronization in P1 varied systematically as a function of movement type and note-finger combinations, suggesting distinct motor organizations in parallel and contrary motion. In parallel motion, a predominant anticipation of the left hand and a smaller magnitude of asynchrony were observed, indicating greater temporal stability. In contrary motion, in addition to a shift in leadership to the right hand in most combinations, a consistent increase in the magnitude of asynchrony was observed, reflecting greater temporal reorganization.

For P2, the results also indicated greater temporal stability in parallel motion, with smaller magnitudes of asynchrony. In contrast, contrary motion showed an increase in asynchrony magnitude, accompanied by greater variability and alternation of leadership between the hands. The findings suggest that the demands of bimanual coordination modulate not only the direction but also the magnitude of temporal offset between the hands, depending on the note-finger combination.

CONCLUSIONS AND/OR IMPLICATIONS

Combinations involving homologous finger did not yield better synchronization in either participant, suggesting that anatomical factors alone may not determine temporal precision. Factors related to the direction of musical motion, fingering, and motor familiarity with parallel motion may have influenced the results, indicating that different motor organizations can support bimanual synchronization within the same task.

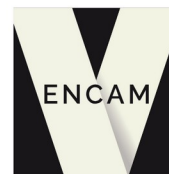
KEYWORDS

Bimanual synchronization; piano practice; MIDI

REFERENCES

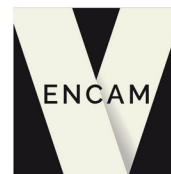
- Furuya, S., & Altenmüller, E. (2013). Flexibility of movement organization in piano performance. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, Article 173. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.0017>
- Goebl, W., Flossmann, S., & Widmer, G. (2010). Investigations of between-hand synchronization in Magaloff's Chopin. *Computer Music Journal*, 34(3), 35–44. <https://www.jstor.org/stable/40963031>





- Goebel, W., & Palmer, C. (2013). Temporal control and hand movement efficiency in skilled music performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 39(4), 1127–1142. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0050901>
- Ito, K., Watanabe, T., Horinouchi, T., Matsumoto, T., Yunoki, K., Ishida, H., Kirimoto, H. (2023). Higher synchronization stability with piano experience: Relationship with finger and presentation modality. *Journal of Physiological Anthropology*, 42, Article 33. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37337272/>
- Jabusch, H.-C. (2006). Movement analysis in pianists. In E. Altenmüller, M. Wiesendanger, & J. Kesselring (Eds.), *Music, motor control and the brain* (pp. 91–108). Oxford University Press.
- Swinnen, S. P., & Wenderoth, N. (2004). Two hands, one brain: Cognitive neuroscience of bimanual skill. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(1), 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2003.10.017>





Sincronização Bimanual em Pianistas: Efeitos da Homologia dos Dedos e da Direção do Movimento durante a Execução de um Pentacorde

Paloma Felício Monteiro¹, Maxwell Gentili-Morin², Giordano Gatti³, João Paulo Casarotti⁴, Jefferson Fagundes Loss⁵, Marcelo M. Wanderley⁶, Regina Antunes, Teixeira dos Santos⁷

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ²McGill University, ³Aix-Marseille University,

⁴Glendale Community College, ⁵Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ⁶McGill University,

⁷Universidade Federal do Rio Grande do Sul

palomafeliciomonteiro@hotmail.com, maxwell.gentili-morin@mail.mcgill.ca,
gatti.giordano12@gmail.com, jpcasarotti@gmail.com, jefferson.loss@ufrgs.br,
marcelo.wanderley@mcgill.ca, regina.teixeira@ufrgs.br

RESUMO

PROBLEMA/QUESTÃO

A sincronização temporal entre as mãos constitui um componente fundamental da performance pianística (Goebl & Palmer, 2013), estando relacionada à organização motora, escolhas de dedilhado e precisão do ataque sonoro. Embora a literatura reconheça a relevância da coordenação bimanual (Goebl, Flossmann, & Widmer, 2010; Swinnen & Wenderoth, 2004; Jabusch, 2006; Furuya & Altenmüller, 2013; Ito et al., 2023), as implicações das restrições anatômicas dos dedos para sincronização temporal permanecem insuficientemente investigadas. Devido à organização tendínea dos músculos extensores, os dedos não operam de forma independente e estão sujeitos a dependências mecânicas e neuromusculares em tarefas que exigem extensão e produção de força. No contexto da performance ao piano, o desafio motor reside em desenvolver a dissociação funcional entre os dedos, mantendo a precisão temporal.

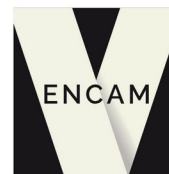
OBJETIVOS

Investigar os efeitos do uso de dedilhados homólogos e não homólogos na sincronização bimanual durante a execução do pentacorde de Fá maior, comparando as condições de movimento paralelo e contrário.

MÉTODO

Dois pianistas (P1 e P2) participaram do estudo e executaram o pentacorde de Fá maior sob duas condições: movimento paralelo e movimento contrário. Em cada condição, foram realizadas 12 repetições e calculada a assincronia temporal média, resultando em um valor único por condição e participante. Os dados foram coletados via MIDI, permitindo o cálculo da assincronia entre os ataques das notas das duas mãos. Um script desenvolvido para esta pesquisa identificou os ataques das notas e a diferença temporal entre as mãos. As execuções foram realizadas em um piano digital conectado a um computador e gravadas no Reaper. A análise foi conduzida no MATLAB, e as diferenças





entre as condições foram comparadas por meio de teste t, adotando-se $p < 0,05$ como nível de significância.

RESULTADOS E/OU PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES

Os resultados indicaram que a sincronização das mãos em P1 variou sistematicamente em função do tipo de movimento e das combinações nota-dedo, sugerindo diferentes organizações motoras em movimento paralelo e contrário. No movimento paralelo, observou-se uma predominância de antecipação da mão esquerda e uma menor magnitude de assincronia, indicando maior estabilidade temporal. No movimento contrário, além de uma mudança na liderança para a mão direita na maioria das combinações, observou-se um aumento na magnitude da assincronia, refletindo uma maior reorganização temporal sob esta condição.

Para P2, os resultados indicaram maior estabilidade temporal no movimento paralelo, com menores magnitudes de assincronia. Em contraste, o movimento contrário mostrou um aumento na magnitude da assincronia, acompanhado de maior variabilidade e alternância de liderança entre as mãos. Esses achados sugerem que as demandas da coordenação bimanual modulam a direção e a magnitude do offset temporal entre as mãos, dependendo da combinação nota-dedo.

CONCLUSÕES E/OU IMPLICAÇÕES

As combinações envolvendo dedos homólogos não apresentaram melhor sincronização em nenhum dos participantes, sugerindo que fatores anatômicos isolados podem não determinar a precisão temporal. Fatores relacionados à direção do movimento musical, ao dedilhado e à familiaridade motora com o movimento paralelo podem ter influenciado os resultados, indicando que diferentes organizações motoras podem sustentar a sincronização bimanual em uma mesma tarefa.

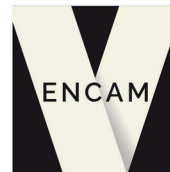
PALAVRAS-CHAVE

Sincronização bimanual; prática pianística; MIDI

REFERÊNCIAS

- Furuya, S., & Altenmüller, E. (2013). Flexibility of movement organization in piano performance. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, Article 173. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.0017>
- Goebl, W., Flossmann, S., & Widmer, G. (2010). Investigations of between-hand synchronization in Magaloff's Chopin. *Computer Music Journal*, 34(3), 35–44. <https://www.jstor.org/stable/40963031>
- Goebl, W., & Palmer, C. (2013). Temporal control and hand movement efficiency in skilled music performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 39(4), 1127–1142. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0050901>
- Ito, K., Watanabe, T., Horinouchi, T., Matsumoto, T., Yunoki, K., Ishida, H., Kirimoto, H. (2023). Higher synchronization stability with piano experience: Relationship with finger and presentation modality. *Journal of Physiological Anthropology*, 42, Article 33. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37337272/>





Jabusch, H.-C. (2006). Movement analysis in pianists. In E. Altenmüller, M. Wiesendanger, & J. Kesselring (Eds.), *Music, motor control and the brain* (pp. 91–108). Oxford University Press.

Swinnen, S. P., & Wenderoth, N. (2004). Two hands, one brain: Cognitive neuroscience of bimanual skill. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(1), 18–25.

<https://doi.org/10.1016/j.tics.2003.10.017>

