



Fundação Universidade Federal do ABC

Pró reitoria de pesquisa

Av. dos Estados, 5001, Santa Terezinha, Santo André/SP, CEP  
09210-580

Bloco L, 3ºAndar, Fone (11) 3356-7617

[iniciacao@ufabc.edu.br](mailto:iniciacao@ufabc.edu.br)

Projeto de Iniciação Científica  
submetido para avaliação no Edital  
04/2022

**Título do projeto:** Performance musical como modelo para investigar correlatos neurais de coordenação temporal e cooperativa

**Palavras-chave do projeto:** ação conjunta, *performance* musical, coordenação temporal, cooperação, fNIRS

**Área do conhecimento do projeto:** Neurociência

## SUMÁRIO

<b>Resumo</b>	<b>3</b>
<b>Objetivos</b>	<b>7</b>
<b>Objetivo Geral</b>	<b>7</b>
<b>Objetivos Específicos</b>	<b>7</b>
<b>Metodologia</b>	<b>7</b>
<b>Participantes</b>	<b>7</b>
<b>Estímulos</b>	<b>8</b>
<b>Equipamentos</b>	<b>8</b>
<b>Desenho experimental e Procedimentos</b>	<b>9</b>
<b>Viabilidade</b>	<b>10</b>
<b>Cronograma e atividades</b>	<b>10</b>
<b>Referências</b>	<b>12</b>

## 1. Resumo

Um dos aspectos que vem ganhando proeminência dentro da literatura científica é a interconexão entre cérebros durante tarefas realizadas em conjunto. Para entender mais a fundo como a sincronia entre cérebros funciona num contexto social, o presente trabalho irá realizar, por meio de uma técnica de neuroimagem chamada espectroscopia funcional por infravermelho próximo (fNIRS), uma análise da atividade cerebral de músicos tocando duetos de piano. A *performance* musical é um método interessante para avaliar os correlatos neurais de tarefas conjuntas por se tratar de um modelo com intervalos temporais bem definidos, o que irá facilitar o desenvolvimento do experimento e o entendimento dos resultados. O objetivo é explorar se as correlações das atividades cerebrais durante a *performance* musical advém de uma exposição conjunta de estímulos sensoriais e motores idênticos ou se o cérebro se adapta ao contexto social de modo codependente. Durante o experimento, a atividade cerebral de 20 pares de pianistas será registrada de forma simultânea enquanto serão executados trechos musicais em duo. Serão realizadas algumas manipulações nos estímulos temporais para provocar mudanças no grau de cooperatividade durante a *performance*, buscando identificar possíveis diferenças nos padrões da atividade de regiões associadas aos sistemas de neurônios-espelho e mentalização de acordo com mudanças referentes à adaptação temporal e cooperação. O projeto busca abrir caminhos para futuras pesquisas acerca das bases neuronais de processos cognitivos essenciais durante interações sociais, visto que ainda não há muitos estudos nessa área.

Palavras-chave: ação conjunta, *performance* musical, coordenação temporal, cooperação, fNIRS

## **2. Introdução e Justificativa**

Desde os primórdios da humanidade, no final da era paleolítica, os primeiros seres humanos que levavam uma vida de caça e coleta precisaram aprender a conviver socialmente, organizando-se em tribos e dividindo tarefas. Esse feito garantiu a eles uma vida mais cômoda e segura, fazendo com que tempo e energia pudessem ser empregados em novas atividades, dando início às primeiras estruturas sociais (HARARI, 2018). Nos dias de hoje, através de tecnologias avançadas de imageamento cerebral, é possível investigar possíveis correlatos neurais de processos cognitivos que permitem a coordenação temporal e cooperatividade em ação conjunta. Entender mais a fundo sobre os complexos processos neurais e cognitivos dentro de contextos sociais pode nos ajudar a entender de que forma a evolução de milhares de anos moldou nossa capacidade cognitiva de interagir com outros seres humanos de forma conjunta.

Habilidades na sincronização de movimentos entre dois indivíduos já foi apontada como aspecto fundamental para interação social (BEKKERING et al., 2009; DE JAEGER et al., 2010; MARSH et al., 2009; SEBANZ et al., 2006). Modelos teóricos recentes indicam que a coordenação temporal entre indivíduos durante uma ação conjunta requer uma representação comum da ação a ser executada e envolve processos cognitivos que permitem antecipação e adaptação em tempo real (KELLER et al., 2014; SEBANZ et al., 2006). Pesquisas de neuroimagem por ressonância magnética revelaram a existência de uma rede neural localizada em regiões corticais fronto-parietais que é ativada durante a execução e também durante a observação de certas ações motoras (RIZZOLATTI and SINIGAGLIA, 2010). Acredita-se que esse sistema, conhecido como neurônios-espelho, seja particularmente importante na execução de ações conjuntas que exigem coordenação temporal entre dois ou mais indivíduos porque esse mecanismo neural permite simulação motora, que refere-se a capacidade do cérebro de representar uma ação observada a partir dos processos motores necessários para executar aquela ação (GALLESE and GOLDMAN, 1998; JEANNEROD, 2001).

Tomando como base um modelo centrado no indivíduo isoladamente e comparando com um modelo focado em interações conjuntas entre dois ou mais

indivíduos em tempo real, é possível investigar os mecanismos cognitivos e neurais que estão envolvidos na coordenação temporal e motora, permitindo uma visão mais ampla a respeito da cognição social (CARUANA et al., 2017; HASSON et al., 2012; SACHELI et al., 2015A; SCHILBACH et al., 2013). Desenvolvimentos recentes de técnicas de neuroimagem, como o *hyperscanning* por exemplo, permitem a análise simultânea da atividade cerebral de vários indivíduos, ampliando os horizontes a respeito dos mecanismos neurofisiológicos provenientes de ações conjuntas (MONTAGUE et al., 2002; BEKKERING et al., 2009; SCHOLKMANN et al., 2013; BABILONI and ASTOLFI, 2014). A espectroscopia funcional no infravermelho próximo (fNIRS) é uma tecnologia de hiper-varredura da atividade cerebral de modo não invasivo que infere indiretamente a atividade neural pela avaliação da hemodinâmica e oxigenação local na superfície cortical (FERRARI and QUARESIMA, 2012; PINTI et al., 2018; SCHOLKMANN et al., 2014).

Para conseguirmos avaliar de modo mais assertivo a interação entre cérebros, será realizado um experimento no qual todos os atores envolvidos na ação conjunta integrem, antecipem, adaptem, e coordenem movimentos entre si de forma muito precisa, porém dinâmica. Para isso, a *performance* musical é um modelo experimental muito relevante para o estudo de interação social e ação conjunta em situações naturalistas, permitindo a investigação da correlação da atividade cerebral de duas pessoas realizando uma tarefa conjunta em uma situação controlada experimentalmente, porém realística (D'AUSILIO et al., 2015; VOLPE et al., 2016). Estudos recentes têm buscado investigar as bases neurais da ação conjunta na performance musical usando métodos de hiper-varredura com eletroencefalografia (LINDENBERGER et al., 2009; KONVALINKA et al., 2010; BABILONI et al., 2011, 2012; SÄNGER et al., 2012; LOEHR et al., 2013; MÜLLER et al., 2013).

Um estudo particularmente relevante metodologicamente para o presente projeto foi desenvolvido por Novembre et al. (2014). Nessa pesquisa, pianistas praticaram alguns trechos musicais simples compostos por uma linha melódica na mão direita e um acompanhamento na mão esquerda. Porém, durante a coleta de dados, os músicos executaram apenas a melodia da mão direita e foram instruídos a sincronizar seus movimentos com um 'parceiro virtual', isto é, uma gravação correspondente ao acompanhamento da mão esquerda. Além disso, em algumas

tentativas, foram inseridas alterações no tempo do metrônomo que deveria ser seguido durante a sincronização, exigindo, portanto, que os participantes adaptassem o tempo de execução de seus movimentos para manter a sincronia na execução da melodia. Pulsos repetitivos de estimulação magnética transcraniana foram aplicados sobre o córtex motor primário direito antes que as alterações no tempo do metrônomo ocorressem. Os resultados indicaram que a estimulação alterou significativamente a capacidade dos músicos de adaptarem e coordenarem seus movimentos com o parceiro virtual, porém, esse efeito foi presente somente nas melodias que os pianistas haviam praticado anteriormente. Esses achados levantam a hipótese de que áreas do sistema de neurônios-espelho ligadas a simulação motora sejam particularmente importantes para o sucesso de uma interação em tempo real por permitir a antecipação e adaptação temporal em uma ação conjunta.

Portanto, neste estudo pretendemos identificar os possíveis correlatos neurais subjacentes a processos cognitivos de cooperação e coordenação temporal em ação conjunta durante a *performance* musical em conjunto. Esta proposta combina uma técnica de neuroimagem robusta que permite o registro simultâneo da atividade cerebral de múltiplos indivíduos (fNIRS) a um paradigma experimental reconhecidamente relevante para a investigação de interação social e ação conjunta, que é a *performance* musical. Como é possível constatar pela revisão de literatura apresentada sucintamente aqui, não existem pesquisas sobre essa temática utilizando-se dos recursos e paradigma experimental propostos nesse projeto. Portanto, esse projeto vem preencher uma lacuna importante nas pesquisas acerca dos correlatos neurais de processos cognitivos subjacentes à cooperação e coordenação na ação conjunta, contribuindo significativamente para ampliar a compreensão acerca das bases neurais de processos cognitivos fundamentais para interação social.

### **3. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo Geral**

Identificar, através da técnica de neuroimagem fNIRS, os possíveis correlatos neurais subjacentes a processos cognitivos de cooperação e coordenação temporal em ação conjunta durante a performance musical de duos de piano.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

Identificar possíveis diferenças na atividade de áreas fronto-parietais associadas aos sistemas de neurônios-espelho e mentalização de acordo com manipulações referentes à adaptação temporal e cooperação durante a *performance* musical de duos de piano.

Analisar dados comportamentais referentes à precisão e acurácia da sincronização entre os músicos durante a execução musical em conjunto de acordo com manipulações referentes à adaptação temporal e cooperação.

### **4. Metodologia**

#### **4.1. Participantes**

Participarão neste estudo um total de 20 músicos, de ambos os sexos, na faixa etária entre 18 a 70 anos de idade, e com audição normal. Para assegurar um grau semelhante de expertise musical e domínio técnico do instrumento, recrutaremos pianistas com no mínimo cinco anos ininterruptos de treinamento formal e que estejam ativamente envolvidos com a prática do instrumento. Serão excluídos indivíduos com problemas sistêmicos, neurológicos, congênitos e com déficits auditivos, considerando os relatos nos questionários de avaliação clínica e demográfica.

A participação nesta pesquisa ocorrerá mediante o conhecimento prévio da temática e etapas do estudo por cada voluntário, bem como, da assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido. Os procedimentos realizados na pesquisa obedecerão às recomendações éticas da Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP, resolução no 466) e já foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da Universidade Federal do ABC.

## **4.2. Estímulos**

Serão selecionados doze trechos musicais utilizados em estudos anteriores (Novembre et al., 2014). Cada trecho musical irá incluir uma melodia a ser executada pela mão direita e um acompanhamento na mão esquerda composto. As melodias não devem exigir reposicionamento da mão no teclado e não devem incluir grandes intervalos entre notas musicais para garantir um mesmo nível de dificuldade entre todas as melodias. Cada melodia será repetida 3 vezes a fim de completar um bloco de 30 segundos de aquisição de dados.

## **4.3. Equipamentos**

Os pianistas executarão os trechos musicais sentados lado-a-lado em um teclado/piano digital. A apresentação do feedback auditivo e dos pulsos do metrônomo, bem como a aquisição dos dados MIDI será implementada por softwares como Presentation (<https://www.neurobs.com/>). Os participantes receberão o feedback auditivo através de fones de ouvido individuais, com volume ajustável a um nível confortável.

Dados MIDI referentes à precisão e acurácia da execução musical tanto entre os músicos como em relação ao metrônomo serão coletados e extraídos através da ferramenta MIDI<sup>1</sup> do programa MATLAB. Dentre as variáveis de interesse estão o tempo entre toque sucessivos nas teclas do piano (inter-onset interval (IOI)) e assincronia, a diferença entre o toque na tecla do piano e o click do metrônomo e entre as partes da mão direita e esquerda (condição conjunta).

Os dados referentes à atividade cerebral dos músicos durante a execução dos trechos musicais ao piano serão avaliados por meio da resposta hemodinâmica cerebral aferida pela técnica fNIRS. O equipamento que será utilizado para coleta simultânea dos dados cerebrais de ambos os músicos é composto por 16 fontes de iluminação de LED que emitem duas ondas de luz do espectro próximo do infravermelho (760 nm e 850 nm) e 16 detectores ópticos que serão compartilhados entre os músicos (NIRScout, NIRx Medical Technologies, Glen Head, NY). Os optodos serão posicionados em uma touca usando como referência o sistema internacional 10-20 (Sharbrough et al., 1991) e dispostos espacialmente de forma a

---

<sup>1</sup> <https://www.jyu.fi/hytk/fi/laitokset/mutku/en/research/materials/miditoolbox>



resultar em canais (pares de fontes e detectores) com distâncias padrão entre optodos de aproximadamente 30 mm e com taxa de amostragem de 7.81 Hz. Os canais cobrirão as superfícies esquerda e direita do escalpo sobre regiões do córtex sensório-motor, regiões fronto-parietais e da junção temporoparietal.

#### **4.4. Desenho experimental e Procedimentos**

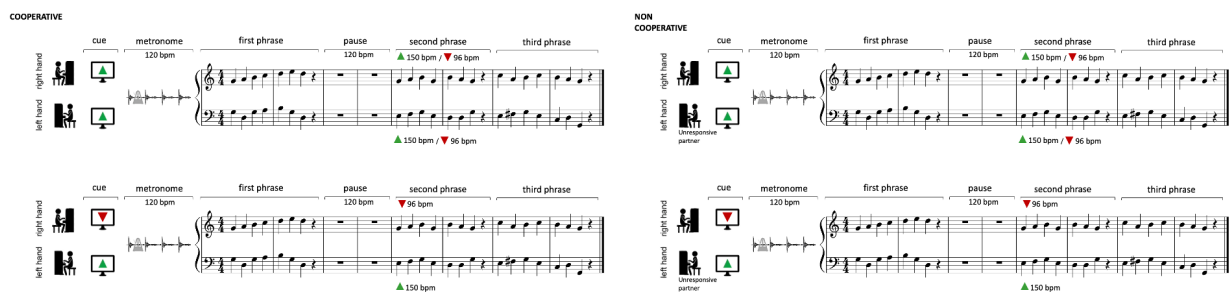
A sessão de aquisição de dados será dividida em dois blocos. Cada bloco será composto por 24 tentativas (12 melodias x 2 condições), somando ao final 48 tentativas. Manipulações em relação à cooperação e adaptação temporal serão implementadas em duas condições. Em uma das condições de execução conjunta, alterações congruentes do metrônomo serão apresentadas para ambos os músicos a partir da segunda frase da melodia. Na segunda condição, as alterações do metrônomo serão discrepantes de forma que para um dos músicos o metrônomo será adiantado em 10% ou 20% em relação ao tempo do metrônomo inicial, enquanto para o segundo músico o metrônomo será atrasado (Figura 1).

A tarefa consiste em um dos músicos executar a melodia da mão direita enquanto o acompanhamento da mão esquerda será executado pelo segundo músico. As etapas de execução serão intercaladas por períodos de pausa de 30 segundos para registro de atividade cerebral em repouso. Esses procedimentos serão repetidos para cada uma das melodias, cuja ordem de execução será contrabalanceada. Ao final da execução de todos os trechos musicais no primeiro bloco, os músicos trocarão de lugar e os procedimentos serão repetidos no segundo bloco.

Os músicos receberão instruções por meio de uma tela de computador posicionada atrás do piano, na altura dos olhos. No início de cada fase de repouso, os participantes ouvirão um alarme sonoro (1000 Hz, 20 ms) e serão instruídos a manterem o olhar no ponto de fixação apresentado na tela do computador. Nos últimos 10 segundos da fase de repouso, os participantes receberão instruções referentes a etapa seguinte, seja para execução solo apenas a melodia da mão direita ou para execução em conjunto. No início das etapas de execução, os músicos ouvirão, através de fones de ouvido individuais, 4 clicks do metrônomo indicando o andamento para execução do trecho musical (IOI 500 ms). A execução da melodia será iniciada juntamente com o 5º click do metrônomo, e os músicos

serão instruídos a manter a sincronia com o metrônomo da melhor forma possível até o final dos trechos musicais.

Ao final da sessão, os participantes responderão a um questionário que avalia traços psicológicos de empatia e a capacidade de se colocar no lugar do outro. Esse questionário é baseado na adaptação para língua portuguesa (LIMPO et al., 2014) do Índice de Reatividade Interpessoal (DAVIS, 1983).



**Figura 1.** Esquema de organização do paradigma experimental.

## 5. Viabilidade

Esse projeto integra uma linha de pesquisa em desenvolvimento na Universidade Federal do ABC e é parte de um projeto de pesquisa em andamento. A aprovação da Comissão de Ética já foi obtida. Todos os equipamentos e materiais necessários para realização da pesquisa estão disponíveis.

## 6. Cronograma e atividades

1. Revisão Bibliográfica;
2. Testes pilotos.
3. Organização e planejamento para experimento;
4. Recrutamento e coleta de dados.
5. Análise de dados;
6. Elaboração de Relatório;
7. Participação em eventos científicos.

**Tabela 1** – Cronograma de atividades previstas.

<b>Etapas</b>	<b>Set-Dez/2022</b>	<b>Jan-Abr/2023</b>	<b>Mai-Ago/2023</b>	<b>Set/2023</b>
1. Revisão Bibliográfica	X	X	X	
2. Testes pilotos	X			
3. Organização e planejamento para experimento	X	X		
4. Recrutamento e coleta de dados	X	X	X	
5. Análise de dados	X	X	X	
6. Elaboração de Relatório				X
7. Participação em eventos científicos				X

## Referências

BABILONI, C., BUO, P., VECCHIO, F., MARZANO, N., DEL PERCIO, C., SPADA, D., et al.; Brains “in concert”: frontal oscillatory alpha rhythms and empathy in professional musicians. *Neuroimage* 60, 105–116, 2012.

BABILONI, C., VECCHIO, F., INFARINATO, F., BUO, P., MARZANO, N., SPADA, D., et al.; Simultaneous recording of electroencephalographic data in musicians playing in ensemble. *Cortex* 47, 1082–1090, 2011.

BABILONI, F., and ASTOLFI, L.; Social neuroscience and hyperscanning techniques: past, present and future. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 44, 76–93, 2014

BEKKERING, H., DE BRUIJN, E. R. A., CUIJPERS, R. H., NEWMAN-NORLUND, R., VAN SCHIE, H. T., and MEULENBROEK, R.; Joint action: neurocognitive mechanisms supporting human interaction. *Top. Cogn. Sci.* 1, 340–352, 2009.

CARUANA, N., MCARTHUR, G., WOOLGAR, A., and BROCK, J.; Simulating social interactions for the experimental investigation of joint attention. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 74, 115–125, 2017.

D'AUSILIO, A., NOVEMBRE, G., FADIGA, L., and KELLER, P. E.; What can music tell us about social interaction? *Trends Cogn. Sci.* 19, 111–114, 2015

DAVIS, M. H.; Measuring individual differences in empathy: Evidence for a multidimensional approach. *J. Pers. Soc. Psychol.* 44, 113–126, 1983.

DE JAEGHER, H., DI PAOLO, E., and GALLAGHER, S.; Can social interaction constitute social cognition? *Trends Cogn. Sci.* 14, 441–447, 2010.

DEMOS, A. P., CARTER, D. J., WANDERLEY, M. M., and PALMER, C.; The unresponsive partner: Roles of social status, auditory feedback, and animacy in coordination of joint music, 2017.

EEROLA, T., and TOIVIAINEN, P.; MIR in Matlab: The MIDI toolbox. in Proceedings of the International Conference on Music Information Retrieval, 22–27, 2004.

FERRARI, M., and QUARESIMA, V.; A brief review on the history of human functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) development and fields of application. *Neuroimage* 63, 921–935, 2012.

FINNEY, S. A.; Real-time data collection in Linux: A case study. *Behav. Res. Methods, Instruments, Comput.* 33, 167–173, 2001.

GALLESE, V., and GOLDMAN, A.; Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading. *Trends Cogn. Sci.* 2, 493–501, 1998.

GOEBL, W., and PALMER, C.; Synchronization of Timing and Motion Among Performing Musicians. *Music Percept.* 26, 427–438, 2009.

HARARI, Y. N.; *Sapiens: Uma breve história da humanidade*. Porto Alegre: L&PM Editores S. A., 2018.

HASSON, U., GHAZANFAR, A. A., GALANTUCCI, B., GARROD, S., and KEYSERS, C.; Brain-to-brain coupling: a mechanism for creating and sharing a social world. *Trends Cogn. Sci.* 16, 114–121, 2012.

JEANNEROD, M.; Neural simulation of action: A unifying mechanism for motor cognition. *Neuroimage* 14, S103–S109, 2001

KONVALINKA, I., VUUST, P., ROEPSTOR, A., and FRITH, C. D.; Follow you, follow me: continuous mutual prediction and adaptation in joint tapping. *Q. J. Exp. Psychol.* 63, 2220–2230, 2010.

LIMPO, T., ALVES, R. A., and CASTRO, S. L.; Medir a empatia: Adaptação portuguesa do Índice de Reactividade Interpessoal. *Laboratório Psicol.* 8, 171–184, 2014.

LINDENBERGER, U., LI, S. C., GRUBER, W., and MÜLLER, V.; Brains swinging in concert: cortical phase synchronization while playing guitar. *BMC Neurosci.* 10:22, 2009.

LOEHR, J. D., KOURTIS, D., VESPER, C., SEBANZ, N., and KNOBLICH, G.; Monitoring individual and joint action outcomes in duet music performance. *J. Cogn. Neurosci.* 25, 1049–1061.

LOEHR, J. D., and VESPER, C.; The sound of you and me: Novices represent shared goals in joint action. *Q. J. Exp. Psychol.* 69, 535–547, 2016.

MARSH, K. L., RICHARDSON, M. J., and SCHMIDT, R. C.; Social Connection Through Joint Action and Interpersonal Coordination. *Top. Cogn. Sci.* 1, 320–339, 2009.

MONTAGUE, P. R., BERNS, G. S., COHEN, J. D., MCCLURE, S. M., PAGNONI, G., DHAMALA, M., et al.; Hyperscanning: simultaneous fMRI during linked Social Interactions. *Neuroimage* 16, 1159–1164, 2002.

MÜLLER, V., SÄNGER, J., and LINDENBERGER, U.; Intra and inter-brain synchronization during musical improvisation on the guitar. *PLoS One* 8:e73852, 2013.

NOVEMBRE, G., and KELLER, P. E.; A conceptual review on action-perception coupling in the musicians brain: what is it good for? *Front. Hum. Neurosci.* 8, 603, 2014.

PINTI, P., TACHSIDIS, I., HAMILTON, A., HIRSCH, J., AICHELBURG, C., GILBERT, S., et al.; The present and future use of functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) for cognitive neuroscience. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 1–25, 2018.

RIZZOLATTI, G., and SINIGAGLIA, C.; The functional role of the parieto-frontal mirror circuit: Interpretations and misinterpretations. *Nat. Rev. Neurosci.* 11, 264–274, 2010.

SACHELI, L. M., AGLIOTI, S. M., and CANDIDI, M.; Social cues to joint actions: The role of shared goals. *Front. Psychol.* 6, 1034, 2015a.

SÄNGER, J., MÜLLER, V., and LINDENBERGER, U.; Intra and interbrain synchronization and network properties when playing guitar in duets. *Front. Hum. Neurosci.* 6:312, 2012.

SCHILBACH, L., TIMMERMANS, B., REDDY, V., COSTALL, A., BENTE, G., SCHLICHT, T., et al.; Toward a second-person neuroscience. *Behav. Brain Sci.* 36, 393–462, 2013.

SCHOLKMANN, F., HOLPER, L., WOLF, U., and WOLF, M.; A new methodical approach in neuroscience: assessing inter-personal brain coupling using functional near-infrared imaging (fNIRI) hyperscanning. *Front. Hum. Neurosci.* 7:813, 2013.

SCHOLKMANN, F., KLEISER, S., METZ, A. J., ZIMMERMANN, R., MATA PAVIA, J., WOLF, U., et al.; A review on continuous wave functional near-infrared spectroscopy and imaging instrumentation and methodology. *Neuroimage* 85, 6–27, 2014.

SEBANZ, N., BEKKERING, H., and KNOBLICH, G.; Joint action: Bodies and minds moving together. *Trends Cogn. Sci.* 10, 70–76, 2006.

SHARBROUGH, F., CHATRIAN, G. E., LESSER, R. P., LÜDERS, H., NUWER, M., and PICTON, T. W.; American Electroencephalographic Society Guidelines for Standard Electrode Position Nomenclature. *J. Clin. Neurophysiol.* 8, 200–202, 1991.

VOLPE, G., D'AUSILIO, A., BADINO, L., CAMURRI, A., and FADIGA, L.; Measuring social interaction in music ensembles. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 371:20150377, 2016.