



## ANÁLISE DE SINAIS ELETROENCEFALOGRÁFICOS E ELETROCARDIOGRÁFICOS DURANTE ESTIMULAÇÃO MUSICAL

**Resumo** – Nesse trabalho foram analisados sinais EEG e ECG de um voluntário enquanto o mesmo foi submetido a estímulo musical, que provocou no voluntário sentimentos desagradáveis. Notou-se que, no geral a simetria cerebral direita – esquerda medida nos ritmos rápidos aumentou na presença desse estímulo. Por outro lado, a frequência cardíaca diminuiu.

**Palavras-Chave** – Coerência cerebral. Eletroencefalografia. Eletrocardiografia. Variação da frequência cardíaca.

### ANALYSIS OF ELETROENCEPHALOGRAPHIC AND ELECTROCARDIOGRAPHIC SIGNS DURING MUSICAL STIMULATION

**Abstract** - In this study, EEG and ECG signals were analyzed from a volunteer while the subject was submitted to musical stimulus, which elicited unpleasant feelings in the volunteer. It was observed that, in general, the right-left cerebral symmetry measured in the fast rhythms increased in the presence of this stimulus. On the other hand, the heart rate decreased.

**Keywords** - Brain coherence. Electroencephalography. Electrocardiography. Heart rate variation.

### I. INTRODUÇÃO

Emoções desempenham um papel vital na vida das pessoas, porque afeta a comunicação social, comportamento e inteligência. A música é frequentemente mencionada como uma linguagem de emoções e é amplamente reconhecida como uma das ferramentas mais poderosas para despertar emoções e sentimentos em seres humanos. A apreciação e o afeto pela música são um atributo universal em todas as culturas e raças humanas. Existe uma estreita relação entre as emoções humanas e a música, porque as partes do cérebro humano que percebem a música e percebem as emoções são próximos uns dos outros [1].

Diversos estudos são feitos com uso da música em pacientes com patologias, a música fornece meios importantes

de apoio e ferramentas para a mudança, despertando elementos cognitivos, estimulação e construção de relacionamentos, além de fornecer estruturas para liberação de tensão, integração e prazer [2]. A musicoterapia é uma coleção de métodos terapêuticos que usam a música como um meio de comunicação e emocional expressão. A musicoterapia pode incluir reflexões verbais semelhantes aos que seriam encontrados na psicoterapia. Pode também incluir a criação de músicas, ou seja, principalmente improvisação em um ambiente individual ou de grupo [3].

O sinal eletroencefalograma (EEG) registra a atividade elétrica do cérebro e contém informações úteis sobre o estado cerebral, exibe um comportamento complexo significativo com fortes propriedades. A comunicação nas células do cérebro ocorre através de impulsos elétricos. É medido colocando os eletrodos no couro cabeludo do voluntário [4]. Já o eletrocardiograma (ECG) é o registro que mede a atividade elétrica gerada pelo coração, monitorando e diagnosticando as condições cardíacas. O ECG é adquirido, normalmente, por eletrodos em contato com a pele, havendo elementos de condicionamento, processamento e registro do sinal [5].

Existem vários ritmos na atividade cerebral passíveis de serem registados através dos eletrodos, que estão associados com vários aspectos comportamentais, estados da consciência e estados cognitivos. Os ritmos do EEG variam consideravelmente e correlacionam-se com alguns estados de comportamento, como os níveis de atenção, sono ou vigília, e patologias, tais como epilepsia. Baseados principalmente em sua função e localização, as oscilações do EEG foram agrupadas em bandas de frequência, que são categorizadas pela sua faixa de frequência e cada uma é denominada com uma letra grega [6], [7]. Ritmos Delta são lentos, variando entre 0,5 e 3,5 Hz, mas habitualmente largos em amplitude, e são característicos dos estágios do sono profundo. Os ritmos Theta estão entre 3,5 – 7,5 Hz e ocorrem durante o sono profundo. Os ritmos Alpha estão entre 7,5 – 12,5 Hz e aparecem espontaneamente em adultos normais durante a vigília, sob condições de relaxamento e inatividade mental. Ritmos Beta variam entre 12,5 e 30 Hz, são melhores definidos em locais centrais e frontais, com menos amplitude que as ondas alfas. Eles são aprimorados em cálculos mentais, expectativa ou tensão em toda a superfície do couro cabeludo. Ritmos Gama (30 – 60 Hz) têm correlações com diferentes

processos sensoriais e cognitivos, notavelmente durante a percepção visual, auditiva, somática e olfativa, bem como com atenção. Já Ritmos Super Gama (variavelmente definidos entre 80-120 +) são associação com potenciais de ação da fala [8], [9].

Esse trabalho tem o objetivo de analisar os resultados estatísticos realizados para os sinais EEG e ECG, coletados no Setor de Neurologia do HCU-UFU (SEN/HCU UFU), e verificar se existe heterogeneidade quando o voluntário está em repouso de olhos fechados e no momento em que ele é estimulado por uma música que não gosta.

## II. MATERIAS E MÉTADOS

### A. Coleta de dados

Para a coleta dos sinais EEG e ECG foi selecionado um voluntário neurologicamente saudável, do sexo masculino e essa foi realizada no setor de neurologia do HCU-UFU (SEN/HCU UFU). Este procedimento foi autorizado pelo parecer 2.570.022 do CEPE – UFU.

O registro desses sinais foi feito levando em consideração dois diferentes eventos: Olhos Fechados (OF), no qual o voluntário manteve-se deitado, de olhos fechados e em silêncio por um período de 3 minutos; e Estimulação Musical (EM), cuja música foi escolhida pelo próprio voluntário, considerada como uma música que não é agradável, a saber “Rap pela minha pátria- Exército brasileiro”. Nessa situação (EM) o voluntário permaneceu de olhos fechados ouvindo o estímulo por um tempo de 60 segundos.

O aparelho de registro trata-se de um amplificador de sinais biomédicos denominado *Brain-Net* com capacidade de 23 canais de EGG e 2 canais de ECG. Na montagem do EEG o sistema 10-20 foi utilizado. As características da aquisição de dados foram: Frequência de amostragem igual a 400 Hz; Filtragem 1-100 Hz; Filtro Notch ativado.

Depois do registro dos dados, um médico neurologista definiu o melhor minuto referente ao evento OF. Assim, o sinal EEG foi dividido em épocas (trechos do sinal), sendo 30 épocas para o evento OF e 30 épocas para o evento EM, tendo duração de 2 segundos cada trecho. Com relação ao sinal ECG, a separação do minuto de interesse levou em consideração o mesmo período escolhido para o sinal EEG, sendo que esse sinal foi analisado de maneira total.

### B. Processamento do sinal EEG

Para o processamento do sinal EEG foi utilizado o quantificador COERÊNCIA que se refere ao grau de homogeneidade de fase entre dois sinais, assim como descrito em [10]. O cálculo é feito pela magnitude quadrada da densidade espectral cruzada entre os dois sinais, usando como base a equação (1).

$$|\Gamma_{xy}(e^{jw})|_i^2 = \frac{|S_{xy}(e^{jw})|^2}{S_x(e^{jw})S_y(e^{jw})} \quad (1)$$

Onde:

$S_{xy}$  – Densidade espectral de potência cruzada;

$S_x$  – Densidade espectral do sinal X;

$S_y$  – Densidade espectral do sinal U;

$i$  – Segmento considerado.

Essa equação têm a propriedade (2):

$$0 \leq |\Gamma_{xy}(e^{jw})|^2 \leq 1 \quad (2)$$

Sendo que valores próximos de zero apresentam baixa correlação e valores próximos de um indicam correlação alta. Para esse cálculo são levados em consideração 8 pares de eletrodos (FP1 – FP2, F7 – F8, F3 – F4, T3 – T4, C3 – C4, T5 – T6, P3 – P4, O1 – O2) simétricos nos hemisférios cerebrais direito e esquerdo, a partir do sistema 10-20.

### C. Processamento do sinal ECG

No processamento do sinal foi estimada a frequência cardíaca (FC) que é a frequência gerada pela despolarização diastólica espontânea seguida de diversas reações eletroquímicas realizada por um mecanismo intrínseco, juntamente com o mecanismo extrínseco obtido pela atividade tônica dos dois ramos do sistema nervoso autônomo (SNA), simpático e parassimpático. A interação dos dois tônus gera os valores da FC que é alterada a cada momento devido aos ajustes do sistema [11]. A FC é calculada em batimentos por minuto (bpm).

Foi obtida também a variação da frequência cardíaca (VFC), a qual constitui um potente e independente indicador de mortalidade cardiovascular [12]. O VFC é a medida da variação da FC entre cada par de batimentos do coração num determinado intervalo de tempo. Sua análise é conduzida nos domínios do tempo e/ou frequência e é realizada a partir de valores medidos em intervalos consecutivos dos batimentos cardíacos em período de tempo.

### D. Análise dos dados

Para compreensão dos dados e sintetização das informações foi feita a análise estatística descritiva. Utilizou-se a mediana e o desvio padrão da mediana para o sinal EEG, visto que este apresenta um comportamento não gaussiano. Essa descrição estatística foi realizada para os eventos OF e EM, para cada ritmo cerebral e em cada par de eletrodos. Já para o sinal de ECG foi realizado o cálculo da média e desvio padrão para OF e EM. Além disso, para efeito de comparação foi utilizado o teste de Mann – Whitney, afim de verificar a diferença do sinal nos eventos OF e EM [13].

## III. RESULTADOS

A partir do sinal de EEG foram calculados os resultados da COERÊNCIA para cada época selecionada, e com as informações da estatística descritiva e do teste de comparação Mann - Whitney, a Tabela I foi elaborada. Nela estão demonstrados os valores de média  $\pm$  desvio-padrão, além do  $p_{\text{valor}}$ , o qual indica se há diferença significativa entre os eventos. As informações da Tabela I foram obtidas para OF e para EM, e como já citado na metodologia a análise foi feita para oito pares de eletrodos.

Para o sinal de ECG foi encontrado valores de frequência cardíaca de 67 bpm no evento OF, e 64 bpm no evento EM. Por meio da análise descritiva das amplitudes do ECG foram encontrados os valores de média e desvio padrão para ambos eventos (Tabela II). Na Tabela III estão demonstrados os

Tabela I – Resultados da estatística descritiva para cada evento e nível de heterogeneidade feito pelo teste de Mann – Whitney.

Eletrodos	Situação	Delta	Teta	Alfa	Beta	Gama	Super Gama
FP1 - FP2	OF	0.78 ± 0.16	0.80 ± 0.14	0.94 ± 0.05	0.74 ± 0.20	0.39 ± 0.20	0.33 ± 0.19
	EM	0.87 ± 0.14	0.83 ± 0.09	0.96 ± 0.05	0.75 ± 0.16	0.60 ± 0.19	0.50 ± 0.18
	p_valor	*	NS	NS	*	***	***
F7 - F8	OF	0.21 ± 0.15	0.20 ± 0.14	0.48 ± 0.24	0.16 ± 0.16	0.11 ± 0.13	0.11 ± 0.12
	EM	0.30 ± 0.25	0.19 ± 0.20	0.55 ± 0.21	0.21 ± 0.17	0.11 ± 0.13	0.10 ± 0.13
	p_valor	*	NS	NS	***	NS	NS
F3- F4	OF	0.87 ± 0.08	0.86 ± 0.11	0.85 ± 0.08	0.70 ± 0.17	0.49 ± 0.21	0.33 ± 0.19
	EM	0.81 ± 0.15	0.83 ± 0.10	0.88 ± 0.07	0.72 ± 0.15	0.69 ± 0.16	0.64 ± 0.18
	p_valor	**	NS	NS	*	***	***
T3 - T4	OF	0.40 ± 0.19	0.28 ± 0.19	0.18 ± 0.18	0.12 ± 0.16	0.12 ± 0.13	0.11 ± 0.13
	EM	0.22 ± 0.22	0.18 ± 0.18	0.24 ± 0.17	0.13 ± 0.15	0.14 ± 0.15	0.12 ± 0.14
	p_valor	**	*	NS	NS	***	NS
C3 - C4	OF	0.83 ± 0.08	0.78 ± 0.13	0.70 ± 0.19	0.53 ± 0.22	0.46 ± 0.19	0.47 ± 0.19
	EM	0.81 ± 0.15	0.77 ± 0.15	0.67 ± 0.19	0.55 ± 0.18	0.68 ± 0.15	0.70 ± 0.15
	p_valor	NS	NS	NS	NS	***	***
T5 - T6	OF	0.41 ± 0.21	0.32 ± 0.17	0.46 ± 0.19	0.16 ± 0.17	0.22 ± 0.16	0.26 ± 0.17
	EM	0.50 ± 0.17	0.21 ± 0.17	0.48 ± 0.20	0.19 ± 0.18	0.29 ± 0.18	0.30 ± 0.18
	p_valor	NS	NS	NS	NS	***	**
P3 - P4	OF	0.81 ± 0.13	0.76 ± 0.17	0.70 ± 0.19	0.59 ± 0.17	0.57 ± 0.19	0.47 ± 0.20
	EM	0.85 ± 0.12	0.77 ± 0.16	0.68 ± 0.20	0.60 ± 0.19	0.74 ± 0.14	0.74 ± 0.16
	p_valor	*	NS	NS	NS	***	***
O1 - O2	OF	0.74 ± 0.17	0.68 ± 0.17	0.73 ± 0.16	0.56 ± 0.19	0.52 ± 0.18	0.51 ± 0.18
	EM	0.78 ± 0.17	0.65 ± 0.15	0.74 ± 0.15	0.56 ± 0.19	0.64 ± 0.17	0.59 ± 0.17
	p_valor	NS	NS	NS	NS	***	***

OF indica Olhos fechados; EM indica Estimulação musical; NS indica Não significativo com p\_valor maior que 0.05; \* indica p\_valor menor que 0.05; \*\* indica p\_valor menor que 0.005; \*\*\* indica p\_valor menor que 0.0005;

Tabela II – Descritiva de amplitudes ECG

	Média	Desvio padrão
Olhos Fechados	0.1392	37.2731
Estimulação musical	0.0266	39.6942

resultados de média e desvio padrão da análise descritiva para a VFC. Em relação ao cálculo de VFC, a comparação entre os eventos OF e EM foi estatisticamente diferente (p\_valor = 0.002;  $\alpha = 95\%$ ). Na Figura 1, está representada a VFC do evento OF (linha tracejada) e a VFC do evento EM (linha contínua).

#### IV. DISCUSSÃO

Analisando os resultados do sinal EEG, pode observar-se que nos ritmos Delta e Teta apenas os pares T3-T4 e T5-T6 tiveram menor COERÊNCIA quando comparados com os outros pares. Já os ritmos Alfa e Beta tiveram uma maior semelhança apenas nos eletrodos FP1-FP2 e F3-F4. Levando em consideração os ritmos Gama e Super Gama pode verificar-se que quando o voluntário estava sob a EM, houve

Tabela III – Descritiva da VFC do sinal ECG

	Média	Desvio padrão
Olhos Fechados	0.8898	1.1953
Estimulação musical	0.9368	0.1870

maior homogeneidade nos pares de eletrodos. E observando a comparação entre OF e EM os ritmos Gama e Super Gama destacam-se, pois tiveram uma maior diferença nos pares de eletrodos quando comparado o hemisfério direito com o hemisfério esquerdo. Portanto, as bandas de alta frequências (Beta, Gama e Super Gama), obtiveram resultados com maior significância.

Em [14] utilizou-se 12 voluntários, os quais foram submetidos a vários tipos de músicas, para que eles identificassem se gostavam ou não gostavam. Teve como resultado que a banda gama é essencial para a identificação das preferências musicais. Esse achado condiz com os achados do referente estudo, visto que o ritmo Gama teve uma maior diferença nos pares de eletrodos.

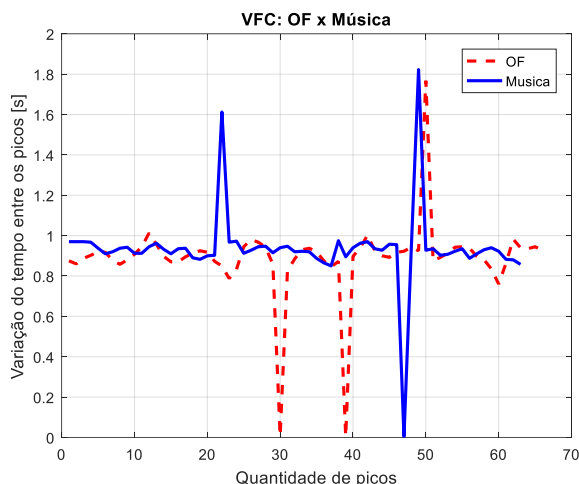


Fig. 1. Variação da frequência cardíaca do sinal ECG

[15] obteve como objetivo descobrir o efeito dos lobos temporais do cérebro enquanto ouve a recitação do Alcorão e a música hardrock. A análise estatística foi feita utilizando o software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) e a significância estatística calculada por meio de um teste ANOVA. Essas análises demonstraram que ao ouvir a recitação do Alcorão e a música hardrock, a onda beta é exibida, o que pode ser associação com o presente artigo, visto que, nas bandas de alta frequência teve uma maior diferença comparando OF com EM, já que o ritmo Beta em [15] variou quando foi submetido a uma estimulação.

Em [16] usou-se 8 voluntários (7 mulheres, 1 homem), com a análise de coerência feita nos registros de EEG dos mesmos. Obteve como resultado um alto aumento da coerência no córtex pré – frontal, par Fp1 – Fp2, para o ritmo gama. Observando-se a Tabela I, é possível verificar que na banda de frequência gama, também, verificou-se um grande aumento nesse par de eletrodos.

Já em [17] verificou o efeito da música hindustani na atividade cerebral durante condições normais de relaxamento, a pesquisa foi feita com 10 voluntários saudáveis sem conhecimento musical. Utilizou a transformada Wavelet e Detrended Fluctuation Analysis (DFA) para análise dos resultados. Esse artigo citou que em pesquisas recentes demonstraram que a modulação da atividade da faixa de gama em períodos de tempo entre 200 e 400 ms após o início de um estímulo está associada à percepção de objetos visuais coerentes e pode ser uma assinatura da memória ativa. Isso pode ser associado a este estudo, visto que a banda de frequência gama teve variação quando foi colocado a EM. Pode associar-se que essa variação com alguma lembrança não agradável do voluntário.

Com os resultados do sinal ECG, conclui-se que a frequência cardíaca apresentou uma queda de aproximadamente 5% no evento EM comparado com OF. Na Tabela II, pode verificar-se que a média teve um valor próximo de zero, o que é esperado, devido os picos do sinal se anularem, já o desvio padrão foi alto devido os picos crescerem e decrescerem rapidamente. Além disso, observando a Figura 1, nota-se que o comportamento da linha tracejada, está variando entre 0.8 e 1, o que é comprovado na

Tabela III com os valores da média, visto que ela é a tendência do comportamento.

[18] estuda as mudanças de características que acontecem no sinal de eletrocardiograma (sinais de ECG) durante três etapas comparando uns com os outros. Esses estágios incluem ouvir música sedativa, música de excitação e um período de completo silêncio. Foram analisados ECGs de 32 pessoas saudáveis, entre 19 e 24. O registro foi dividido em 4 partes: 30 segundos de silêncio, 60 segundos de música sedativa, 30 segundos de silêncio, 52 segundos de excitação música. Nenhum dos participantes ouviram a música antes. Analisando os resultados, foi perceptível que a Frequência Cardíaca (FC) diminuiu quando a música foi ouvida, comparada com o silêncio. Em uma análise geral, sem considerar o tipo de música, ouvir um som faz o coração bater diferente do silêncio. Comparando estes resultados com os encontrados percebemos uma grande relação já que nos dois houve uma diminuição da FC.

[19] diz que as emoções provocadas pela música têm efeitos sobre a regulação da atividade cardíaca, frequência cardíaca (FC) e variabilidade da frequência cardíaca (VFC), porém afirma em seu trabalho que há uma grande falta de estudos em relação a métodos, achados e qualidade. Portanto, há uma necessidade de estudos para especificar como a redução de estresse, relaxamento ou ativação com música contribui para mudanças os componentes espectrais da VFC e os efeitos das emoções evocadas pela música na atividade cardíaca.

## V. CONCLUSÕES

O processamento do sinal EEG do voluntário estimulado musicalmente mostrou que as bandas de frequências Gama e Super Gama apresentaram maior diferença nos pares de eletrodos, quando comparadas as situações OF e EM. Na análise do sinal ECG notou-se que, embora a FC tenha diminuído, a VFC aumentou, quando na presença do estímulo.

Por meio da busca literária, poucos estudos que fizeram o tipo de análise realizado nesse trabalho foram encontrados. Esse fato motiva que novos estudos sejam realizados, principalmente aumentando o número de participantes estudados.

Como trabalhos futuros, pretende-se utilizar outras ferramentas quantitativas, tanto para EEG quanto para ECG e então verificar se essas conseguem diferenciar estados neurológicos e cardíacos antes, durante e após os estímulos musicais.

## AGRADECIMENTOS

## REFERÊNCIAS

- [1] A. M. Bhatti, M. Majid, S. M. Anwar, and B. Khan,

- “Human emotion recognition and analysis in response to audio music using brain signals,” *Comput. Human Behav.*, vol. 65, pp. 267–275, 2016.
- [2] L. Magill, B. Memoral, and S.-K. C. Center, “The Use of Songs in Music Therapy With Cancer Patients and Their Families,” 1984.
- [3] J. Fachner, C. Gold, and J. Erkkilä, “Music therapy modulates fronto-temporal activity in rest-EEG in depressed clients,” *Brain Topogr.*, 2013.
- [4] D. P. Subha, P. K. Joseph, R. Acharya U, and C. M. Lim, “EEG signal analysis: a survey.,” *J. Med. Syst.*, 2010.
- [5] M. Blanco-Velasco, B. Weng, and K. E. Barner, “ECG signal denoising and baseline wander correction based on the empirical mode decomposition,” *Comput. Biol. Med.*, 2008.
- [6] D. L. Schomer and F. H. L. da Silva, *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*, Sixth. Philadelphia, PA 19103 USA: Lippincott Williams & Wilkins, 2011.
- [7] G. Buzsáki, *Rhythms of the Brain*, 1st ed. 198 Madison Avenue, New York, New York 10016: Oxford University Press, 2006.
- [8] W. Freeman and R. Q. Quiroga, *Imaging Brain Function With EEG*, 1st ed., no. c. New York: Springer-Verlag, 2013.
- [9] L. Sörnmo and P. Laguna, *BIOELECTRICAL SIGNAL PROCESSING IN CARDIAC AND NEUROLOGICAL APPLICATIONS*, ELSEVIER. Burlington, MA 01803, USA.: Academic Press; 1 edition, 2005.
- [10] C. D. Ramos, “Caracterização do eletroencefalograma normal em situação de vigília: elaboração da base de dados e análise quantitativa,” Faculdade de Engenharia Elétrica FEELT - Universidade Federal de Uberlândia, Dissertação de mestrado, 2017.
- [11] R. L. Verrier and A. Tan, “Heart rate, autonomic markers, and cardiac mortality,” in *Heart Rhythm*, 2009.
- [12] J. P. Ribeiro and R. S. Moraes, “Variabilidade da frequência cardíaca como instrumento de investigação do sistema nervoso autônomo,” pp. 99–106, 2005.
- [13] M. J. Fontelles, *BIOESTATÍSTICA Aplicada à Pesquisa Experimental: volume 1*, 1A. ED. 20. São Paulo: Livraria da física, 2012.
- [14] Y. Pan, C. Guan, J. Yu, K. K. Ang, and T. E. Chan, “Common frequency pattern for music preference identification using frontal EEG,” in *International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering, NER*, 2013.
- [15] A. A. Abdullah and Z. Omar, “The Effect of Temporal EEG Signals While Listening to Quran Recitation,” *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, 2011.
- [16] J. Sarnthein, A. Vonstein, P. Rappelsberger, H. Petsche, F. Rauscher, G. Shaw, F. H. Rauscher+, and G. L. Shaw, “A Journal of Progress in Neurosurgery, Neurology and Neurosciences Persistent patterns of brain activity: An EEG coherence study of the positive effect of music on spatial-temporal reasoning
- Persistent patterns of brain activity: An EEG coherence study of the positive effect of music on spatial-temporal reasoning,” *Neural Res*, vol. 19, pp. 1-07, 1997.
- [17] A. Banerjee, S. Sanyal, A. Patranabis, K. Banerjee, T. Guhathakurta, R. Sengupta, D. Ghosh, and P. Ghose, “Study on Brain Dynamics by Non Linear Analysis of Music Induced EEG Signals,” *Phys. A Stat. Mech. its Appl.*, 2016.
- [18] M. Dousty and S. Daneshvar, “The effect of different kind of music and silences on electrical heart working,” *Iran. Conf. Biomed. Eng. ICBME 2010 - Proc.*, pp. 1–4, 2010.
- [19] S. Koelsch and L. Jancke, “Music and the heart,” *European Heart Journal*. 2015.