



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NEUROCIÊNCIAS E BIOLOGIA
CELULAR

FELIPE ANDRÉ DA COSTA BRITO

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA A REALIZAÇÃO DO *FINGER TAPPING TEST* E A INFLUÊNCIA DO SEXO E DA DOMINÂNCIA MANUAL NO DESEMPENHO DO *FINGER TAPPING TEST* BASEADO EM *SMARTPHONE*

BELÉM

2023

FELIPE ANDRÉ DA COSTA BRITO

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA A REALIZAÇÃO DO *FINGER TAPPING TEST* E A INFLUÊNCIA DO SEXO E DA DOMINÂNCIA MANUAL NO DESEMPENHO FINGER TAPPING TEST BASEADO EM SMARTPHONE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Biologia Celular – PPGNBC, do Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Neurociências e Biologia Celular.

Área de concentração: Neurociências

Orientador(a): Dr. Givago da Silva Souza

BELÉM

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará

Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- B862d Brito, Felipe André da Costa.
Desenvolvimento de aplicativo para a realização do finger tapping test e a influência do sexo e da dominância manual no desempenho do finger tapping test baseado em smartphone / Felipe André da Costa Brito. — 2023.
73 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Givago da Silva Souza
Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Biologia Celular, Belém, 2023.
1. Finger Tapping Test. 2. Smartphone. 3. Dominância manual e influência do sexo. 4. Desenvolvimento de aplicativo. 5. Coordenação motora. I. Título.

CDD 607

FELIPE ANDRÉ DA COSTA BRITO

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA A REALIZAÇÃO DO *FINGER TAPPING TEST* E A INFLUÊNCIA DO SEXO E DA DOMINÂNCIA MANUAL NO DESEMPENHO *FINGER TAPPING TEST* BASEADO EM *SMARTPHONE*

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Biologia Celular – PPGNBC, do Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Neurociências e Biologia Celular.

Área de concentração: Neurociências

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Givago da Silva Souza, Orientador, Universidade Federal do Pará

Membros titulares

Prof. Dr. Rafael Oliveira Chaves, Banca examinadora, Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Anderson Belgamo, Banca examinadora, Instituto Federal do São Paulo

Profa. Dra. Silvânia Yukiko Lins Takanashi, Banca examinadora, Universidade do Estado do Pará

Prof. Dr. Bruno Duarte Gomes, Banca examinadora, Universidade do Estado do Pará

Membro suplente

Profa. Dra. Bianca Callegari, Banca examinadora, Universidade Federal do Pará

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, seu apoio e encorajamento foram a base sólida sobre a qual construí todo o meu percurso acadêmico. Ao meu orientador, pelo seu conhecimento, orientação e paciência ao longo desta jornada. A todos os professores e colegas que contribuíram para o meu crescimento como pesquisador. E, acima de tudo, dedico este trabalho ao meu próprio compromisso com o conhecimento, à busca constante por respostas e à paixão pela pesquisa. Que este seja apenas o início de uma jornada contínua de aprendizado e descoberta.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho é fruto de uma jornada repleta de desafios, aprendizados e colaborações significativas. Neste momento, quero expressar minha profunda gratidão a todos que desempenharam um papel fundamental nesta conquista.

Primeiramente a minha família, quero expressar meu amor e apreço. Suas palavras de incentivo, apoio, paciência e compreensão foram minha fonte de força em momentos desafiadores.

Minha mais sincera gratidão ao meu orientador, Givago Souza, cuja orientação exemplar, experiência e apoio incansável me guiaram por esse caminho acadêmico. Suas contribuições foram inestimáveis e moldaram profundamente este trabalho.

Aos meus colegas de pesquisa do Laboratório de Neurologia Tropical, que compartilharam ideias, trocaram conhecimentos e proporcionaram um ambiente colaborativo estimulante, agradeço sinceramente.

Aos participantes deste estudo, que generosamente compartilharam seu tempo e conhecimento, meu profundo reconhecimento. Suas contribuições foram essenciais para o sucesso deste trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Neurociências e Biologia Celular, que durante esses anos estiveram contribuindo com conhecimentos e experiências para o nosso futuro profissional e pessoal.

A Universidade Federal do Pará, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior por terem ofertado infraestrutura, bolsa de estudos e financiamento a este projeto.

Não posso deixar de expressar minha profunda gratidão aos amigos especiais que estiveram ao meu lado. A Thomas Souza, Júnior Campos, Lucas Bentes, Tarcísio Barros e Gabriel Oliveira, sua amizade, apoio e os momentos compartilhados não apenas tornaram esta

jornada mais significativa e memorável, mas também aliviaram os desafios e me deram forças para superar os momentos difíceis. Muito obrigado por estarem sempre presentes e por serem parte essencial deste percurso.

Este projeto é verdadeiramente o resultado de uma equipe comprometida e de uma rede de apoio incrível. A todos vocês, minha mais profunda gratidão por fazerem parte desta jornada e por tornarem este trabalho possível.

EPÍGRAFE

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

(José de Alencar)

PRODUÇÃO DO DISCENTE DURANTE O CURSO DE DOUTORADO

1. Participação em projetos de pesquisa desenvolvidos ou em desenvolvimento

PROJETOS APROVADOS PELO CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

-486545/2012-1 Chamada Pública MCT/CNPq - N° 14/2012 - Universal / Universal 14/2012 - Faixa A

-431748/2016-0 Apoio a Projetos de Pesquisa / Universal 01/2016 - Faixa A

-310062/2017-9 Chamada CNPq N° 12/2017 - Bolsas de Produtividade em Pesquisa - PQ

-408288/2022-1 CNPq/Decit/SCTIE/MS N° 47/2022 - Linha 1.3. Avaliação dos impactos do metilmercúrio na saúde da população tradicional da região amazônica

PROJETO APROVADO PELO CONSELHO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR

- Monitoramento ambiental e da saúde humana à exposição de mercúrio. Coordenação de Tereza Cristina Oliveira Corvelo (UFPA)

2. Trabalhos publicados em periódicos internacionais indexados.

2.1. Meireles, Luiza Karina Gonçalves; Miquilini, Leticia; **Brito, Felipe André Costa**; Rodrigues, Anderson Raiol; Henriques, Leonardo Dutra; Hauxman, Einat; Bonci, Daniela Maria Oliveira; Costa, Marcelo Fernandes; De Faria Galvão, Olavo; Ventura, Dora Fix; Goulart, Paulo Roney Kilpp; Souza, Givago Silva. Chromatic discrimination in fixed saturation levels from tufted capuchin monkeys with different color vision genotypes.

Journal of Comparative Physiology A, v. 1, p. 1, 2023.

Fator de Impacto: A2 (Capes)

Editor/distribuidor: Journal of Comparative Physiology A. ISSN: 0340-7594

Doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00359-023-01644-8>

2.2. Brito, Felipe André Costa; Monteiro, Luis Carlos Pereira; Rocha Santos, Enzo Gabriel; De Lima, Ramon Costa; Santos-Lobato, Bruno Lopes; Cabral, André Santos; Callegari,

Bianca; Costa E Silva, Anselmo De Athayde; Souza, Givago Silva. The role of sex and handedness in the performance of the smartphone-based Finger-Tapping Test.

PLOS Digital Health, v. 2, p. e0000304, 2023.

Fator de Impacto: A1 (Capes)

Editor/distribuidor: PLOS Digital Health. ISSN: 1553-7358

Doi: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pdig.0000304>

- 2.3. Igarashi, Yuzo; Meireles, Luiza Karina Gonçalves; **Costa Brito, Felipe André**; Da Costa, Leonardo Ramos Nicolau; Dos Santos Freitas, Joyce; Miquilini, Leticia; Portnoi Baran, Luiz Claudio; Henriques, Leonardo Dutra; Hauzman, Einat; Oliveira Bonci, Daniela Maria; Costa, Marcelo Fernandes; Ventura, Dora Fix; Goulart, Paulo Roney Kilpp; Souza, Givago Silva. Chromatic discrimination in fixed saturation levels from trichromats and subjects with congenital color vision deficiency.

Scientific Reports, v. 12, p. 01, 2022.

Fator de Impacto: A1 (Capes)

Editor/distribuidor: Scientific Reports. ISSN: 2045-2322

Doi: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-022-09531-z>

- 2.4. Souza, G.S.; Miquilini, L.; **Brito, F.A.C.**; Herculano, A. M.; Lacerda, E.M.C.B. VARIEGATED MOSAIC STIMULUS COMBINING LUMINANCE AND COLOR CONTRASTS FOR VISUAL EVALUATION.

Anales AFA, v. 1, p. 7-10, 2018.

Fator de Impacto: A4 (Capes)

Editor/distribuidor: Scientific Reports. ISSN: 1850-1168

Doi: <http://dx.doi.org/10.31527/analesafa.2018.invisiont.7>

- 2.5. De Loureiro, Terezinha Medeiros Gonçalves; Brodeur, Ketan; Schade, Genevieve; **Brito, Felipe André Costa**; Salomao, Railson Cruz; Miquilini, Leticia; Bonci, Daniela Maria Oliveira; Baran, Luiz Claudio Portnoi; Hauzman, Einat; Goulart, Paulo Roney Kilpp; Cortes, Maria Izabel Tentes; Ventura, Dora Fix; Fitzgerald, Malinda E. C. ; Souza, Givago Silva. Effect of the Decrease in Luminance Noise Range on Color Discrimination of Dichromats and Trichromats.

Frontiers in Behavioral Neuroscience, v. 12, p. 01-01, 2018.

Fator de Impacto: A3 (Capes)

Editor/distribuidor: Frontiers in Behavioral Neuroscience. ISSN: 1662-5153

Doi: <http://dx.doi.org/10.3389/fnbeh.2018.00292>

3. Trabalhos publicados em periódicos nacionais indexados.

3.1. Cruz, Bianca Silva da; Souza, Givago da Silva; Nunes, Érica Feio Carneiro; **Brito, Felipe André Da Costa**. Aplicativo para auxiliar fisioterapeutas na avaliação de disfunções pélvicas após câncer de colo do útero.

Fisioterapia em Movimento, v. 36, p. 1-1, 2023.

Fator de Impacto: B1 (Capes)

Editor/distribuidor: SciELO - Scientific Electronic Library Online. ISSN: 1980-5918

Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/fm.2023.36114.0>

4. Trabalhos apresentados em congressos e reuniões científicas

4.1. **Brito, F.A.C.**, Miquilini, L., Herculano, A.M., Souza, G.S. Preliminary data of suprathreshold discrimination of color on portable computers with 8-bit color resolution
In: XXXIII Reunião Anual da FeSBE, 2018, Campos do Jordão.

4.2. Lima, M.R.A.; Soares, E.F.; Silva, M.F.S.; Costa, R.H.F.; **Brito, F.A.C.** Reclique: uma aplicação web como vitrine para o artesanato In: III Congresso de tecnologia e desenvolvimento na Amazônia, 2019, Santarém.

4.3. Dias, SL; Monteiro, LCP; **Brito, FAC**; Loureiro, TGM; Brasil, A; Miquilini, L; Costa, MF; Goulart, PRK; Ventura, DF; Souza, GS. CHROMATIC DISCRIMINATION MASKED BY RANDOM AND NON-RANDOM LUMINANCE DISTRIBUTION IN A MOSAIC ARRANGEMENT. In: XXXVII Reunião Anual da FeSBE, 2023, Búzios, RJ.

5. Congressos e reuniões científicas frequentados

5.1. XXXIII Reunião Anual da Federação de Sociedades de Biologia Experimental – FeSBE. Campos do Jordão Convention Center, Campos de Jordão – SP. 2018.

5.2. VI Jornada de Inclusão Digital. Campus Universitário de Castanhal da UFPA. Castanhal,

Pará, Brasil, 2018.

6. Apresentações e palestras

6.1. Interdisciplinarização da computação e neurociências: desenvolvimento de um programa gerador de estímulos visuais de mosaico, VI Jornada de Inclusão Digital. Campus Universitário de Castanhal da UFPA. Castanhal, Pará, Brasil, 2018.

7. Programas registrados ou em processo de registro

7.1 Patente: Programa de Computador. Número do registro: BR512022001430-0, data de registro: 01/02/2021, título: "CHECKIN", Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

7.2 Patente: Programa de Computador. Número do registro: em processo de registro, data de registro: -/-/, título: "MOSAICO", Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

7.3 Patente: Programa de Computador. Número do registro: em processo de registro, data de registro: -/-/, título: "Momentum Touch", Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

7.4 Patente: Programa de Computador. Número do registro: em processo de registro, data de registro: -/-/, título: "Ocularis", Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

RESUMO

O *Finger Tapping Test* (FTT) é um teste neuropsicológico clássico que avalia o funcionamento motor e recentemente tem sido utilizado por meio de *smartphones*. Nos protocolos clássicos, observou-se que o sexo e a dominância manual influenciam o desempenho durante o teste. Ao avaliar a influência do sexo e da dominância manual no teste, é possível ajustar as medições de desempenho para garantir a validade dos resultados do teste e evitar viés relacionado ao sexo e à dominância manual. O presente estudo teve como objetivo avaliar a influência do sexo e da dominância manual no desempenho de participantes em protocolos de FTT baseado em *smartphones*. Foi desenvolvido um aplicativo *Android* para a realização do FTT e recrutou-se 40 homens e 40 mulheres para realizar três protocolos com diferentes desenhos espaciais (protocolos I, II e III). O desempenho dos participantes foi medido usando os parâmetros globais, temporais e espaciais do FTT. Foi observado que, para o desempenho no protocolo I, a dominância manual teve uma influência significativa nas variáveis globais e temporais, enquanto a interação entre dominância manual e sexo teve uma influência maior nas variáveis espaciais. Para os protocolos II e III, observamos que a dominância manual teve uma influência significativa nas variáveis globais, temporais e espaciais em comparação com outros fatores. Conclui-se que o teste baseado em *smartphone* é parcialmente influenciado pela dominância manual e pelo sexo e esses fatores devem ser considerados durante a avaliação do FTT baseado em *smartphone*.

ABSTRACT

The Finger Tapping Test (FTT) is a classical neuropsychological test that assesses motor functioning, and recently it has been employed using smartphones. For classical protocols, it has been observed that sex and handedness influence the performance during the test. By assessing the influence of sex and handedness on the test, it is possible to adjust the performance measurements to ensure the validity of test results and avoid sex- and handedness-related bias. The present study aimed to evaluate the influence of sex and handedness on smartphone-based FTT performance. We developed an Android application for the FTT and recruited 40 males and 40 females to carry out three spatial designs on it (protocols I, II, and III). Participants' performance was measured using the global, temporal, and spatial parameters of the FTT. We observed that for the performance in protocol I, handedness had a significant influence on global and temporal variables, while the interaction between handedness and sex had a greater influence on spatial variables. For protocols II and III, we observed that handedness had a significant influence on global, temporal, and spatial variables compared to the other factors. We concluded that the smartphone-based test is partly influenced by handedness and sex, and these factors should be considered during the evaluation of the smartphone-based FTT.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 FINGER TAPPING TEST	16
1.2 CONCEITO E DESCRIÇÃO DO <i>FINGER TAPPING TEST</i>	18
1.3 APLICAÇÃO DO <i>FINGER TAPPING TEST</i>	21
1.4 TECNOLOGIAS PARA APLICAÇÃO DO <i>FINGER TAPPING TEST</i>	22
1.5 <i>FINGER TAPPING TEST</i> EM SMARTPHONES	23
1.6 SEXO E DOMINÂNCIA MANUAL NO <i>FINGER TAPPING TEST</i>	26
2. OBJETIVOS	28
2.1 OBJETIVO GERAL	28
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
3. MÉTODOS	29
3.1 CONSIDERAÇÕES ÉTICAS	29
3.2 PARTICIPANTES	29
3.3 DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO	29
3.4 PROTOCOLOS DE UM <i>FINGER TAPPING TEST</i> BASEADO EM <i>SMARTPHONE</i>	30
3.5 ANÁLISE DE DADOS	33
3.6 ESTATÍSTICAS	34
4 RESULTADOS	35
4.1 APRESENTAÇÃO DO APLICATIVO	35
4.2 RESULTADOS DO DESEMPENHO DOS PARTICIPANTES NO PROTOCOLO I	37
4.3 RESULTADOS DO DESEMPENHO DOS PARTICIPANTES NO PROTOCOLO II	40
4.4 RESULTADOS DO DESEMPENHO DOS PARTICIPANTES NO PROTOCOLO III	42
5 DISCUSSÃO	46
6 CONCLUSÃO	49
7 REFERÊNCIAS	50

1. INTRODUÇÃO

1.1 FINGER TAPPING TEST

O *Finger Tapping Test*¹ (FTT) é um teste neuropsicológico amplamente utilizado que avalia o funcionamento motor, coordenação lateralizada e velocidade motora (Schmitt, 2013; Schatz, 2011). Neste teste o participante deverá percutir o dedo em uma superfície o mais rápido possível por um período determinado enquanto mantém a mão fixa (Hubel et al., 2013). A versão original do teste exigia que os participantes completassem 10 tentativas com cada mão, o que tornava o teste demorado. A versão original media o número de toques feitos em um determinado período, mas modificações no protocolo do teste e instrumentos e análises foram sugeridas ao longo dos anos para encurtar a duração do teste (Ashendorf et al., 2015), adaptá-lo às novas tecnologias (Hubel et al., 2013) e extrair mais características (Lee et al., 2016) do desempenho motor durante o teste.

Figura 1. Exemplo de tecla de um telégrafo, na qual eram realizados o FTT em sua origem.



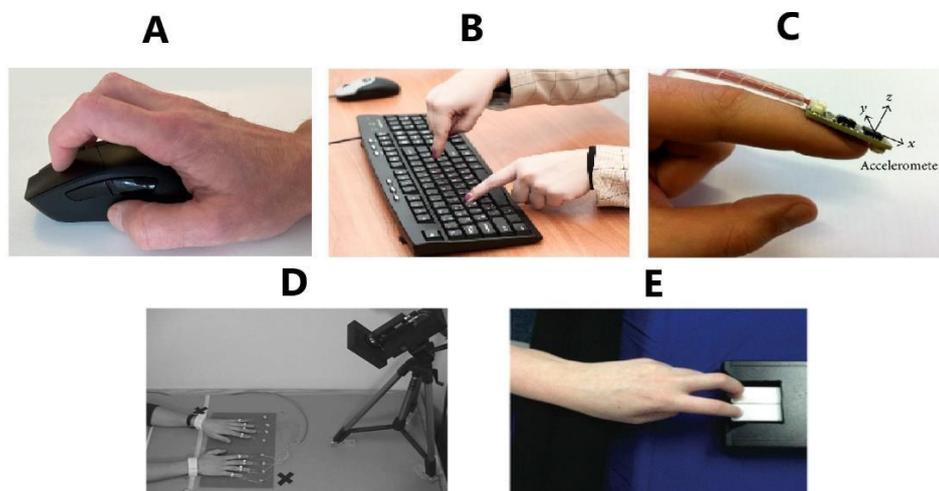
Fonte: Matéria do Olhar Digital.

¹ Nesta tese será usado o termo *Finger Tapping Test* na língua inglesa, devido não haver uma tradução consagrada para esse teste em língua portuguesa. A tradução literal para o nome do teste seria teste de percussão do dedo.

O FTT é uma ferramenta amplamente utilizada tanto em configurações clínicas quanto em pesquisas para avaliar várias condições que afetam a função motora e a saúde neurológica. Ele tem sido utilizado para avaliar os efeitos de lesão cerebral traumática, acidente vascular cerebral, doença de Parkinson, esclerose múltipla e outros distúrbios neurológicos (Roalf et al., 2018; Hubel et al., 2013; Guo et al., 2022; Teremetz et al., 2015). Este teste simples, não invasivo e de baixo custo pode ser administrado em vários ambientes e fornece informações valiosas sobre os mecanismos neurológicos subjacentes que contribuem para o desempenho motor.

Inicialmente, a tecla de um telégrafo era comumente usada para registrar toques de dedo durante o FTT (Wells, 1908) (Figura 1). No entanto, tecnologias alternativas foram propostas, como o mouse do computador (Hubel et al., 2013) (Figura 2A), o teclado (Akram et al., 2022) (Figura 2B), o acelerômetro (Okuno et al., 2006) (Figura 2C), o movimento baseado em imagem (Jobbágy et al., 2005) (Figura 2D) e o teclado midi de instrumento musical (Bronte-Stewart et al., 2000) (Figura 2E).

Figura 2. Interfaces que foram adaptadas para a realização do FTT. (A) Mouse, (B) teclado, (C) Acelerômetro, (D) Movimento baseado em imagem, (E) Teclado midi.



Fonte: colagem feita pelo autor através de imagens da internet e artigos.

Nos últimos anos, as telas sensíveis ao toque de *smartphones* surgiram como uma nova superfície para realizar o FTT. Esta abordagem oferece várias vantagens e benefícios potenciais em relação aos métodos tradicionais. A ampla disponibilidade e portabilidade de *smartphones* tornam mais fácil a administração do teste remotamente ou em ambientes não clínicos. O uso de *smartphones* permite a padronização da administração do teste, pois o dispositivo pode ser programado para fornecer o teste de maneira consistente e reprodutível. Além disso, os *smartphones* permitem a medição precisa da velocidade e duração dos toques, além de facilitar a coleta e análise de dados por meio do registro digital e armazenamento dos resultados do teste. Em resumo, o uso de telas sensíveis ao toque de *smartphones* oferece uma abordagem promissora e conveniente para a administração do FTT, com implicações potenciais para melhorar a avaliação e o monitoramento de condições neurológicas.

1.2. CONCEITO E DESCRIÇÃO DO *FINGER TAPPING TEST*

A motricidade humana pode ser avaliada de diferentes formas e uma das maneiras mais utilizadas na literatura científica é através da determinação da regularidade movimentos rapidamente alternados como a percussão do dedo sobre uma superfície. A este tipo de teste tem sido dado o nome genérico de FTT e classicamente ele tem sido aplicado em teclado ou aparelho de telégrafo. O FTT é uma ferramenta de avaliação neuropsicológica usada para avaliar a função motora, atenção e velocidade de processamento cognitivo em várias populações clínicas e saudáveis (Liu et al., 2021). Envolve tocar em um botão o mais rápido e preciso possível com uma ou ambas as mãos, com o número de toques registrados em um intervalo de tempo específico.

O FTT é uma ferramenta bastante utilizada em ambientes clínicos e de pesquisa e provou ser uma medida confiável e válida da função motora e velocidade de processamento cognitivo e pode ser administrado de várias maneiras, incluindo o uso de um dispositivo mecânico ou software de computador. O método mais comumente utilizado é o eletrônico devido à sua

facilidade de uso, precisão, eficiência e registro dos toques (Abdollahi et al., 2017). O teste pode ser realizado com uma mão ou com as duas mãos e o número de toques feitas por cada mão é registrado separadamente. O teste pode ser realizado com o sujeito sentado ou em pé e pode ser repetido várias vezes para garantir a consistência (Sánchez-Cubillo et al., 2009).

A função motora é essencial para o desempenho das atividades diárias e sua avaliação é de grande importância clínica. O FTT tem se mostrado uma ferramenta eficiente para avaliar a função motora, incluindo habilidades de coordenação motora fina e grossa. O teste é frequentemente usado para diagnosticar distúrbios motores como doença de Parkinson, doença de Huntington e esclerose múltipla. Também tem sido utilizado para avaliar a eficácia de tratamentos, tais como medicamentos e cirurgias, no controle dos sintomas desses distúrbios. Também é utilizado para avaliar a bradicinesia e a bradifrenia. A bradicinesia é um sintoma da doença de Parkinson que se caracteriza pela lentificação e dificuldade na realização dos movimentos voluntários, bem como pela diminuição da amplitude do movimento e da fluência motora. Segundo Zago et al. (2014), a avaliação da bradicinesia também pode incluir a observação da dificuldade de equilíbrio do corpo. Já a bradifrenia, ou lentidão do processamento cognitivo, é uma característica da doença de Parkinson e é frequentemente associada a deficiências na atenção, memória e função executiva (Friedman, 2015). A velocidade de processamento cognitivo é a velocidade na qual um indivíduo pode perceber, processar e responder às informações e, portanto, é um fator de grande importância no sucesso acadêmico e profissional, bem como na vida cotidiana.

Um dos primeiros estudos sobre o FTT foi conduzido por Hebb e Heath em 1946. Eles descobriram que o FTT era uma medida confiável da função motora e poderia diferenciar entre indivíduos com dano cerebral e aqueles sem. Desde então, muitos estudos confirmaram a confiabilidade e a validade do FTT como uma medida da função motora e da velocidade do processamento cognitivo.

Por exemplo, um estudo de Nitrini et al. (2009) examinou o uso do FTT no diagnóstico da doença de Parkinson. Eles descobriram que o teste foi capaz de distinguir entre indivíduos com doença de Parkinson e controles saudáveis, com aqueles com doença de Parkinson tendo um desempenho significativamente pior no teste. Outro estudo de Schretlen et al. (2008) examinou o uso do FTT no diagnóstico de esclerose múltipla. Eles descobriram que o teste foi capaz de diferenciar entre indivíduos com esclerose múltipla e controles saudáveis, com aqueles com esclerose múltipla tendo pior desempenho no teste. Em ambos os estudos os pesquisadores concluíram que o FTT é uma medida confiável e válida da função motora.

O FTT também tem sido usado para avaliar os efeitos da medicação na função motora. Por exemplo, um estudo de Zalewski et al. (2017) examinou o uso do FTT na avaliação dos efeitos da levodopa em indivíduos com doença de Parkinson. Eles descobriram que a levodopa melhorou significativamente o desempenho no FTT.

Boone et al. (1990) examinaram o uso do FTT na avaliação da velocidade de processamento cognitivo de indivíduos com lesão cerebral traumática. Eles descobriram que o teste foi capaz de diferenciar entre indivíduos com lesão cerebral traumática e controles saudáveis, com aqueles com lesão cerebral traumática apresentando pior desempenho no teste.

O FTT tem várias vantagens sobre outras medidas de função motora e velocidade de processamento cognitivo. É rápido e fácil de administrar, requer equipamento mínimo e pode ser realizado por uma ampla gama de profissionais de saúde. O teste também é não invasivo, tornando-o seguro para indivíduos de todas as idades e habilidades. O teste fornece dados objetivos que podem ser usados para rastrear alterações na função motora e na velocidade de processamento cognitivo ao longo do tempo, tornando-se uma excelente ferramenta para monitorar o progresso do tratamento.

1.3. APLICAÇÃO DO *FINGER TAPPING TEST*

O FTT é uma ferramenta de avaliação neuropsicológica amplamente utilizada há mais de um século. O primeiro estudo de teste foi conduzido por Francis Galton no final de 1800 e o equipamento usado neste estudo era relativamente simples. O estudo de Galton envolveu tocar uma tecla com a maior rapidez e precisão possível com o dedo indicador da mão dominante, com o número de toques registrados em um período de tempo específico. Para medir os toques, Galton usou um dispositivo mecânico simples chamado dinamômetro de dedo, que consistia em uma pequena caixa de madeira com uma chave de metal presa a uma alavanca com mola. O participante segurava o dinamômetro na mão e batia na tecla com o dedo indicador enquanto a alavanca registrava o número de toques e isto era então registrado manualmente pelo experimentador.

Embora o equipamento usado no estudo de Galton fosse rudimentar, ele lançou as bases para pesquisas futuras sobre o teste de toques com os dedos. Ao longo dos anos, o equipamento usado para administrar o teste evoluiu, com dispositivos eletrônicos agora comumente usados para medir o número de toques. Por exemplo, o teste de toque de dedo modelo 32020 do instrumento Lafayette usa um dispositivo eletrônico que registra o número de toques automaticamente e fornece feedback em tempo real ao testador. Este dispositivo é amplamente utilizado em ambientes clínicos e de pesquisa e tem se mostrado uma medida confiável e válida da função motora e velocidade de processamento cognitivo.

O FTT é uma ferramenta útil para avaliar uma variedade de condições neurológicas e neuropsicológicas. Por exemplo, estudos mostraram que indivíduos com doença de Parkinson têm uma capacidade reduzida de realizar o teste de toque do dedo em comparação com indivíduos saudáveis (Liu et al., 2018). O FTT também tem sido usado para avaliar a função cognitiva em indivíduos com lesões cerebrais traumáticas (Ardila et al., 2000) e para monitorar a recuperação após um acidente vascular cerebral (Abbruzzese et al., 2002).

Além de suas aplicações clínicas, o FTT tem sido usado em ambientes de pesquisa para investigar vários aspectos da função motora e cognitiva. Por exemplo, o FTT foi usado para investigar os efeitos do envelhecimento na função motora (Seidler et al., 2010) e para estudar a relação entre a função motora e o desempenho cognitivo (Hultsch et al., 2002).

No geral, o FTT é uma ferramenta versátil e amplamente utilizada para avaliar a função motora e cognitiva em ambientes clínicos e de pesquisa. Embora o equipamento usado para administrar o teste tenha evoluído ao longo do tempo, os princípios básicos do teste permanecem os mesmos e continua sendo uma ferramenta importante para avaliar uma variedade de condições neurológicas e neuropsicológicas.

1.4. TECNOLOGIAS PARA APLICAÇÃO DO *FINGER TAPPING TEST*

Existem várias tecnologias disponíveis para administrar e registrar o Finger Tapping Test (FTT), variando do manual ao eletrônico. De acordo com a pesquisa de Stuss, Pogue, Buckle e Levine (1994), o dispositivo de toque manual é o método mais básico e tradicional de administrar o FTT. Geralmente envolve uma superfície plana, como uma mesa ou prancheta e uma pequena tecla de telégrafo, como a de uma máquina de datilografar, que é batida com o dedo indicador. O examinador conta manualmente o número de toques e registra os resultados (Hubel et al., 2013). No entanto, esse método carece de precisão e confiabilidade, e há maior probabilidade de erro do examinador na contagem das batidas.

Um método alternativo de administrar o FTT é por meio de um aplicativo de digitação em um dispositivo móvel ou computador. Os aplicativos Finger Tapping Test (FTT) e o Finger Tapping Test Pro (FTT Pro) são exemplos de tais aplicações. Esses aplicativos exigem que o usuário toque na tela com o dedo indicador o mais rápido possível por um determinado período de tempo. O aplicativo registra automaticamente o número de toques e fornece uma taxa média de

toques. Embora convenientes e facilmente acessíveis, os resultados podem não ser tão precisos quanto outros métodos e podem ser afetados pelo dispositivo usado.

Dispositivos eletrônicos de digitação são uma ferramenta mais sofisticada para administrar o FTT. O instrumento Lafayette Model 32020 Finger Tapping Test e o PsychTest FTT são exemplos de tais dispositivos. O dispositivo normalmente consiste em um pequeno dispositivo portátil com um botão que é tocado com o dedo indicador. O dispositivo registra o número de toques automaticamente e fornece feedback em tempo real sobre a taxa de toque. Esses dispositivos são mais precisos e confiáveis do que os dispositivos de toque manual, mas são mais caros e requerem baterias ou carregamento (Stuss et al., 1994). O dispositivo de digitação computadorizado é a ferramenta mais avançada e sofisticada para administrar o FTT. Exemplos de dispositivos FTT computadorizados incluem o Purdue Pegboard Test, o Psychomotor Vigilance Test e o CANTAB Motor Screening Task. O dispositivo computadorizado consiste em um programa de computador que exibe uma representação visual da tarefa de toque e registra o número de toques automaticamente. Esses dispositivos são os mais precisos e confiáveis, permitem análises mais detalhadas de padrões de toque e erros, mas são a opção mais cara e requerem equipamentos e softwares especializados (Sweat, Garner, & McCallum, 2016).

No geral, a escolha da tecnologia usada para administrar e registrar o ITF depende da pesquisa específica ou das necessidades clínicas e dos recursos disponíveis. Embora os dispositivos de toque manual sejam os mais básicos e tradicionais, os dispositivos eletrônicos e computadorizados oferecem mais precisão e confiabilidade.

1.5. *FINGER TAPPING TEST* EM SMARTPHONES

Os avanços na tecnologia tiveram um impacto profundo no campo da ciência e da medicina, permitindo uma coleta e análise de dados mais precisas e eficientes. O uso da tecnologia levou

ao desenvolvimento de novas técnicas para medir uma variedade de respostas fisiológicas e comportamentais, incluindo o Finger Tapping Test (FTT).

Por exemplo, o uso de eletroencefalografia forneceu aos pesquisadores uma maneira não invasiva de medir a atividade cerebral em resposta a diferentes estímulos (van der Helden et al., 2020). O EEG tem sido usado em conjunto com o FTT para examinar os correlatos neurais do controle motor e da atenção, fornecendo informações valiosas sobre os mecanismos subjacentes da tarefa (Odeagbo & Ebenezer, 2019).

Além disso, o uso da tecnologia de realidade virtual (RV) forneceu aos pesquisadores uma ferramenta poderosa para estudar comportamentos e respostas complexas em um ambiente controlado (Glegg et al., 2018). A RV tem sido usada em conjunto com o FTT para investigar os efeitos de diferentes estímulos no controle motor e nos processos cognitivos (Rizzo et al., 2014). Os avanços na tecnologia móvel também tornaram possível realizar o FTT usando aplicativos de smartphone. Esses aplicativos demonstraram fornecer resultados precisos e confiáveis, tornando-os uma ferramenta útil para fins clínicos e de pesquisa (Leigh et al., 2016). Frequentemente o avanço da tecnologia tem um impacto significativo na pesquisa científica e na prática clínica, fornecendo aos pesquisadores e clínicos novas ferramentas e técnicas para estudar e tratar uma variedade de condições. A integração dessas tecnologias em pesquisa e ambientes clínicos continuará avançando e moldando o campo nos próximos anos.

Com o avanço da tecnologia houve também o surgimento de aplicativos de FTT em smartphones e que vem se popularizando cada vez mais como método para administrar o FTT devido à sua conveniência e acessibilidade (Alvarez-Mora, Madrigal-Zapata, & Hernández-Jiménez, 2021). De acordo com um estudo de Sweat, Garner e McCallum (2016), os aplicativos de FTT para smartphones fornecem uma plataforma fácil de usar para administrar o teste. O estudo descobriu que os aplicativos de toque podem medir com precisão a velocidade psicomotora e a carga de trabalho cognitiva durante a realização de tarefas. Da mesma forma,

um estudo de Mauro, Sherman e Tenenbaum (2018) descobriu que aplicativos de toque em smartphones podem ser usados para medir a função psicomotora e o desempenho cognitivo.

Tipicamente, o FTT quantifica o desempenho medindo o número total de toques e variáveis temporais, como a frequência de toques, intervalo entre toques e duração dos toques (Hubel et al., 2013). No entanto, o surgimento da tecnologia de tela sensível ao toque dos smartphones abriu a possibilidade de registrar a posição da tela onde os toques foram realizados e extrair recursos espaciais da tarefa, como a distância entre coordenadas de toque e distância total dos movimentos do dedo. Lee et al. (Lee et al., 2013) foram pioneiros na avaliação de parâmetros espaciais obtidos a partir de um FTT baseado em smartphone para avaliar a bradicinesia em pacientes com doença de Parkinson em comparação com indivíduos saudáveis. Estudos subsequentes usando FTT baseado em smartphones também aplicaram o teste em condições clínicas, comparando variáveis globais, temporais e espaciais entre controles e pacientes (Bermeo et al., 2017; Arora et al., 2015; Mitsi et al., 2017; Wissel et al., 2018; Zhang et al., 2018; Lipsmeier et al., 2018; Prince et al., 2018; Alberts et al., 2021). Ao incorporar parâmetros espaciais na avaliação do FTT, a tecnologia de smartphones oferece uma promissora via para uma avaliação mais abrangente e precisa da função motora em configurações clínicas.

No entanto, é importante notar que o uso de aplicativos de toque de smartphone para FTT tem suas limitações. Por exemplo, a precisão e a confiabilidade dos resultados podem ser afetadas pela variabilidade no tamanho da tela, sensibilidade do dispositivo e técnica de toque (Sweat et al., 2016). Além disso, os resultados obtidos de aplicativos de toque em smartphones podem não ser tão precisos e confiáveis quanto outros métodos (Fong, Chan, Ng, & Tse, 2018). Portanto, é recomendável comparar os resultados obtidos de aplicativos de toque de smartphone com outros métodos para garantir precisão e consistência.

Dadas as vantagens que os smartphones oferecem como ferramenta para a realização do FTT, é crucial examinar os potenciais fatores que possam interferir no desempenho motor durante o

teste. O sexo e a dominância manual são dois desses fatores que foram demonstrados como afetando o desempenho (Prigatano et al., 2021). Ao avaliar a influência do sexo e da dominância manual nos toques do dedo, os pesquisadores podem determinar se são necessários ajustes para garantir a precisão e a validade dos resultados do teste. Essa abordagem pode ajudar a mitigar o viés e garantir que o FTT seja aplicável a indivíduos de todos os sexos e dominância manual. Em última análise, tais avaliações podem aprimorar a confiabilidade e a utilidade clínica do FTT para avaliar a função motora.

Até o momento, nenhum estudo examinou como as características dos participantes, como sexo e dominância manual, podem influenciar o desempenho no FTT baseado em smartphone. No estudo atual, procuramos investigar a influência do sexo e da dominância manual nos parâmetros globais, temporais e espaciais obtidos a partir do FTT baseado em smartphone. Ao esclarecer essas questões, nossas descobertas poderiam informar o desenvolvimento de avaliações mais precisas e confiáveis da função motora em ambientes clínicos e de pesquisa. No geral, o uso de aplicativos de smartphone para administrar o FTT oferece uma opção conveniente e acessível para pesquisadores e médicos. Embora tenha algumas limitações, demonstrou ser um método confiável e válido para medir a função psicomotora e o desempenho cognitivo em vários ambientes. (Mauro, Sherman e Tenenbaum, 2018)

1.6. SEXO E DOMINÂNCIA MANUAL NO *FINGER TAPPING TEST*

Em relação às diferenças de gênero, alguns estudos sugeriram que os homens têm melhor desempenho do que as mulheres no FTT, enquanto outros não encontraram diferenças significativas entre os gêneros. Por exemplo, Bryden (1977) e um estudo recente de Li et al. (2013) encontraram resultados semelhantes onde relatam que os homens tinham uma velocidade de batimento mais rápida do que as mulheres. No entanto, outros estudos, como os

de Heil et al. (1998) e Sunderland et al. (1984), não encontraram diferenças significativas de gênero.

A dominância manual também afeta o desempenho do FTT, com a mão dominante geralmente tendo um desempenho melhor do que a mão não dominante. Esse efeito tem sido observado tanto em homens quanto em mulheres, conforme estudos realizados por Bryden (1977), Goldman et al. (2009), Li et al. (2013) e Sunderland et al. (1984). Além disso, alguns estudos relataram que a magnitude do efeito da dominância manual é maior em homens do que em mulheres, conforme relatado por Heil et al. (1998) e Li et al. (2013).

Contudo, é importante considerar as diferenças individuais na capacidade motora e na experiência ao interpretar os resultados do FTT. Estudos têm mostrado que músicos e atletas geralmente têm melhor desempenho no FTT do que não músicos e não atletas (Grouios et al., 2004; Hyde et al., 1991; Jenkins et al., 1991). Portanto, o efeito do gênero e da dominância manual pode depender de fatores individuais que influenciam a habilidade motora.

O FTT, portanto, é uma ferramenta valiosa para avaliar a coordenação motora e a velocidade, mas o efeito do gênero e da dominância manual no desempenho do FTT é complexo a ser avaliado. Enquanto alguns estudos encontraram diferenças significativas de gênero e dominância manual, outros não encontraram tais efeitos. A variabilidade nas descobertas pode ser devida a diferenças nos protocolos de toque, tamanhos de amostra, faixa etária e fatores individuais, como habilidade motora e experiência. Portanto, é importante considerar esses fatores ao interpretar os resultados do FTT.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um aplicativo para smartphone para a execução do *Finger Tapping Test* e avaliar a influência do sexo e dominância manual sobre o desempenho no teste.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Desenvolver um aplicativo que permita realizar o FTT, registrar e exportar informações referentes aos toques na tela do smartphone.

Avaliar a dominância manual e sexo dos participantes.

Comparar o desempenho do participante considerando a dominância manual e o sexo deles.

3. MÉTODOS

3.1 CONSIDERAÇÕES ÉTICAS

O presente estudo foi aprovado pelo Comitê de Pesquisa e Ética da Universidade Federal do Pará (CAAE: 67656822.3.0000.5172). Todos os participantes foram informados sobre os procedimentos experimentais e assinaram um termo de consentimento informado para participar do estudo. Todos os procedimentos estão de acordo com a Declaração de Helsinki, cumprindo todas as regulamentações éticas relevantes.

3.2 PARTICIPANTES

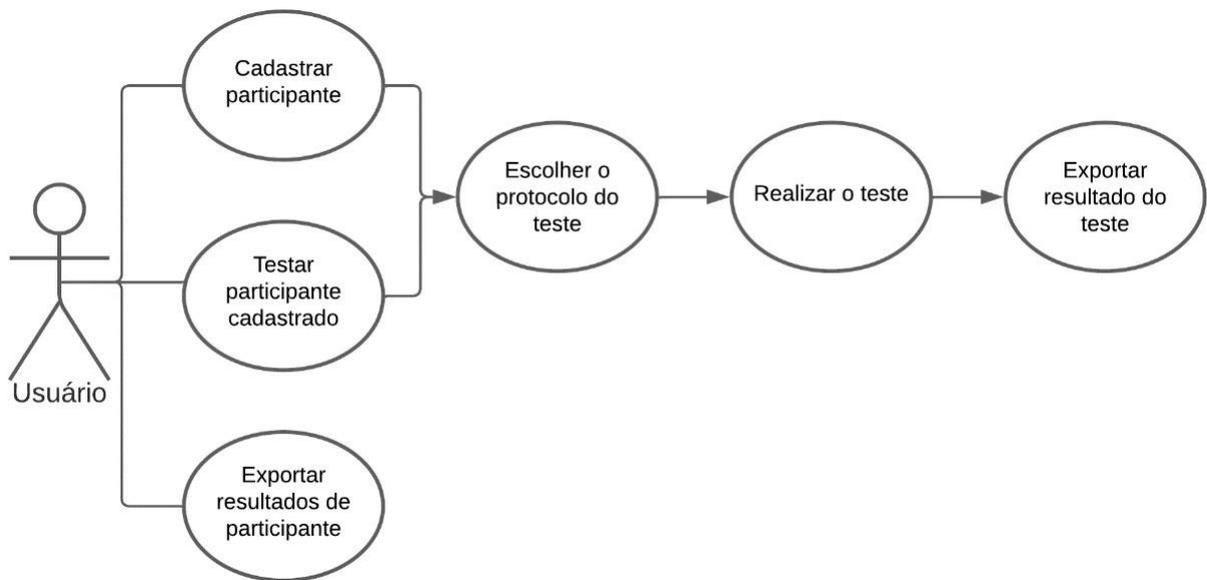
Oitenta participantes destros (40 homens e 40 mulheres) compuseram a amostra do presente estudo, com idade entre 18 e 50 anos (homens: $31,7 \pm 8,04$ anos; mulheres: $34,63 \pm 9,37$ anos). Os participantes deste estudo foram recrutados por meio de amostragem por conveniência a partir de uma população universitária. A dominância manual dos participantes foi avaliada usando a versão curta do inventário de dominância manual de Edimburgo (Veale, 2014). Apenas participantes destros foram incluídos, porque existem diferenças na organização cortical e desempenho motor entre pessoas destros e canhotas (Morita et al., 2020; Hiraoka et al., 2018). Todos os participantes não tinham histórico de doenças degenerativas ou uso de medicamentos que pudessem comprometer os movimentos.

3.3 DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO

O aplicativo, chamado *Momentum Touch*, foi desenvolvido para sistemas operacionais *Android* através do ambiente de desenvolvimento integrado (*Integrated Development Environment - IDE*) *Android Studio*, ferramenta oficial da *Google* para o desenvolvimento de aplicativos *Android*. O aplicativo foi desenvolvido utilizando as linguagens de programação Java para a lógica do aplicativo e XML para a interface do usuário. O smartphone utilizado para rodar o

aplicativo e realizar o estudo foi um *Samsung Galaxy S10 Plus*. Este smartphone possui uma tela Dynamic AMOLED de 6,4 polegadas, QHD+ Display (3040 x 1440 Pixels), HDR10, proporção de 19:9, Gorilla Glass 6, 536 pixels por polegada e uma taxa de amostragem de toque de 120 Hz para captura de toque. A estrutura organizacional do aplicativo pode ser visualizada na Figura 3.

Figura 3. Estrutura organizacional do funcionamento do aplicativo



Fonte: elaborado pelo autor.

3.4 PROTOCOLOS DE UM *FINGER TAPPING TEST* BASEADO EM *SMARTPHONE*

Para o teste, o *smartphone* foi colocado em uma mesa na orientação paisagem em relação ao participante, com a parte superior do *smartphone* voltada para a esquerda. Os participantes realizaram o teste sentados em uma cadeira com o pé tocando o chão e altura da cadeira que permitia a mão repousar sobre a mesa com o cotovelo em flexão de 90°, antebraço pronado e o pulso em flexão de 0°.

Antes dos experimentos, todos os participantes passaram por um teste de treinamento e receberam instruções do mesmo experimentador para garantir que estavam familiarizados com os procedimentos e tarefas. Essa etapa foi realizada para minimizar qualquer confusão ou mal-

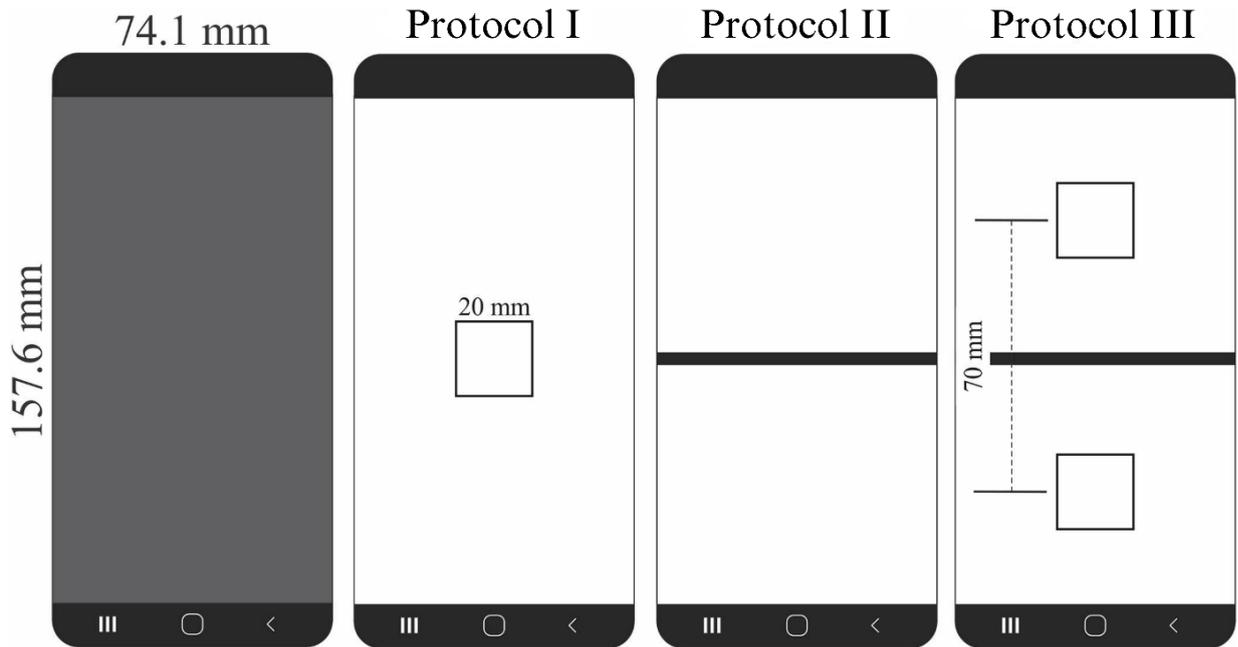
entendido durante o experimento real e garantir que todos os participantes tivessem um nível consistente de compreensão e preparação. Todos os participantes realizaram três protocolos modificados do FTT baseados em smartphones:

Protocolo I: foi projetado para avaliar o desempenho do participante visando uma área centralizada única do smartphone. O Protocolo I é a condição mais próxima do FTT clássico, no qual o participante foi solicitado a tocar repetidamente no mesmo alvo durante o teste. Para o Protocolo I, a tarefa do participante era tocar o dedo indicador na área central o mais rápido possível. Toques fora do alvo central foram considerados erros na tarefa.

Protocolo II: foi projetado para avaliar o desempenho do participante em uma tarefa de toques alternados em ambos os lados do smartphone sem um alvo na tela. Para o Protocolo II, a tarefa do participante era tocar alternadamente o mais rápido possível em ambos os lados da divisão central (região 1 à esquerda e região 2 à direita). Um toque consecutivo no mesmo lado de um toque anterior foi considerado um erro na tarefa.

Protocolo III: foi projetado para avaliar o desempenho do participante em uma tarefa de toques alternados em alvos centralizados em ambos os lados do smartphone. Para o Protocolo III, a tarefa do participante era tocar alternadamente o mais rápido possível em duas áreas centrais em ambos os lados da divisão central (região 1 à esquerda e região 2 à direita). Um toque consecutivo no mesmo lado de um toque anterior ou um toque fora das áreas centrais foi considerado um erro na tarefa. A Figura 4 mostra a representação visual do smartphone e de cada protocolo proposto.

Figura 4. Mostra as propriedades espaciais da representação visual da tela do smartphone para cada protocolo FTT



Fonte: elaborado pelo autor.

A duração do teste para cada protocolo foi de 30 segundos, com um intervalo de 1 minuto entre as tentativas. A mão e o protocolo a serem testados foram escolhidos aleatoriamente. A duração total de todos os experimentos foi de 9,5 minutos. A escolha por uma versão abreviada do FTT é para reduzir a duração total do teste, assim como outros pesquisadores têm tentado fazer (Ashendorf et al., 2015; Makai-Bölöni et al., 2021).

3.5 ANÁLISE DE DADOS

O aplicativo foi programado para registrar as coordenadas espaciais da tela onde houve um toque, o momento do toque e uma variável booleana indicando se o toque foi feito na área alvo, e para exportar um arquivo de texto para ser analisado em rotinas no ambiente MATLAB/OCTAVE ou R. Os seguintes parâmetros foram utilizados para quantificar o desempenho do participante em cada protocolo de FTT descrito anteriormente:

(i) Parâmetros globais:

- Número total de toques.
- Número de erros.

(ii) Parâmetros temporais:

- Frequência mediana de toques.
- Frequência máxima de toques.
- Frequência mínima de toques.

(iii) Parâmetros espaciais:

- Deslocamento total: a soma de todas as distâncias entre os toques. A distância entre os toques foi calculada seguindo a Equação 1.

$$Deslocamento\ total = \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2} \text{ (Equação 1)}$$

Onde x_i e y_i são as coordenadas da tela para o i -ésimo toque

- Área de uma elipse de confiança que cobre 95% da oscilação do equilíbrio (Equação 2), que foi ajustada usando o código do MATLAB/OCTAVE. A área de uma elipse de confiança resume a precisão estatística: quanto menor a elipse, mais precisa a estimativa. Essa medida é vital para construir intervalos de confiança, comparar grupos e tomar decisões embasadas.

$$Area = \pi \times D \times d \text{ (Equação 2)}$$

Onde D é o eixo maior da elipse e d é o eixo menor da elipse.

- Eixo maior da elipse obtido a partir do modelo de elipse que melhor se ajustou aos dados do balanço corporal.
- Eixo menor da elipse obtido a partir do modelo de elipse que melhor se ajustou aos dados do balanço corporal.
- Estimativa de densidade do kernel para calcular a densidade máxima e larguras de banda para os eixos X e Y realizadas usando `kde2d()` no pacote R MASS (Venables et al., 2002).

Para os protocolos II e III, a área da elipse, os eixos maiores e menores foram estimados para as coordenadas dos toques em ambos os lados da tela.

3.6 ESTATÍSTICAS

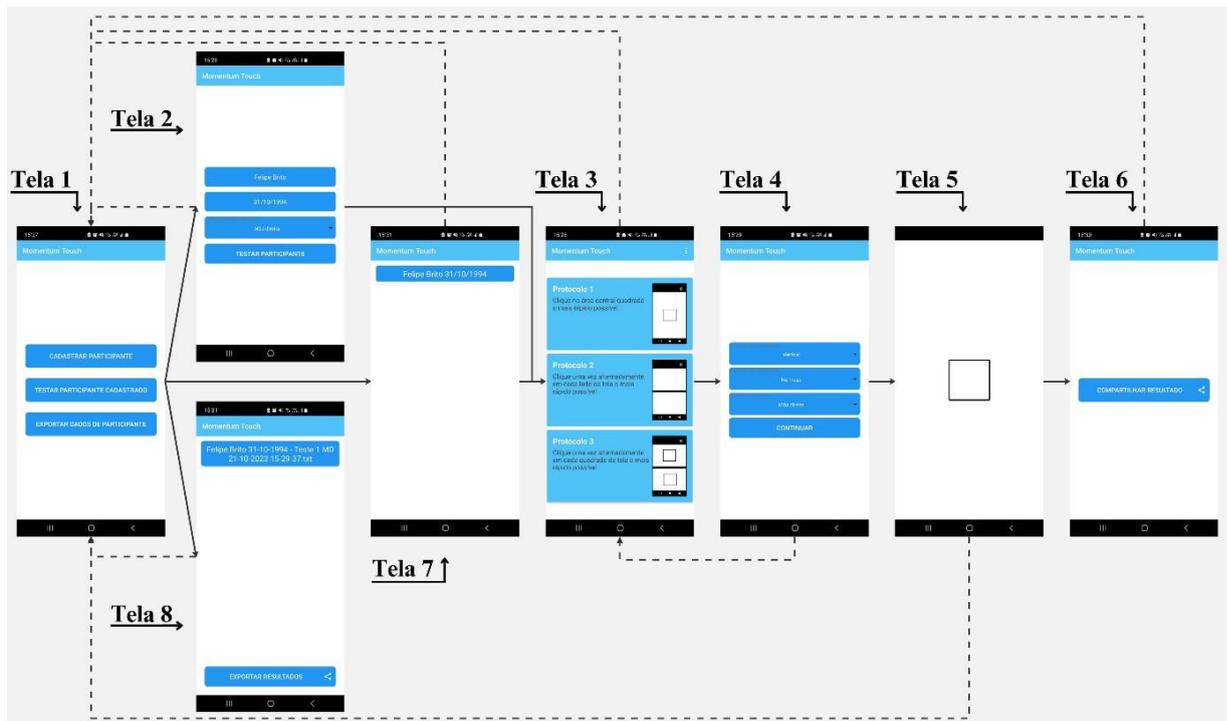
Para testar a influência do sexo e da dominância manual no desempenho do FTT, aplicamos modelos lineares mistos aos parâmetros extraídos do conjunto de dados do FTT. O ID do sujeito foi incluído como um efeito aleatório. Foi utilizado o ANOVA tipo III para estimar o F-estatístico e o valor-p para cada variável nos modelos. Para verificar as suposições do modelo, realizamos uma inspeção visual seguida de um teste de normalidade Shapiro-Wilk e um teste de Bartlett para homogeneidade da variância nos resíduos dos modelos. Para esses modelos, calculamos o η^2 parcial para computar o tamanho do efeito. Nos casos em que o modelo não se adequava bem, aplicamos o teste de medidas repetidas de Friedman seguido pelo teste de comparação múltipla de Dunn. Todas as análises foram realizadas usando R e os seguintes pacotes: `lme4` (Douglas et al., 2015), `lmerTest` (Kuznetsova et al., 2017) e `performance` (Lüdtke et al. 2020). Um nível de confiança de 0,05 foi considerado para todos os testes estatísticos.

4 RESULTADOS

4.1 APRESENTAÇÃO DO APLICATIVO

O aplicativo de FTT desenvolvido neste estudo é uma ferramenta inovadora que permite a avaliação eficiente da coordenação motora, agilidade e desempenho do usuário. Projetado com base em princípios científicos sólidos, este aplicativo oferece uma maneira conveniente e acessível de realizar o teste em dispositivos móveis. A Figura 5 apresenta um fluxograma das telas do aplicativo na qual podemos observar as telas do aplicativo e os caminhos que o usuário pode seguir.

Figura 5. Fluxograma das telas do aplicativo.



Fonte: do autor.

Ao iniciar o aplicativo, o usuário é direcionado à tela inicial do aplicativo, identificada como Tela 1. A partir desta tela, o usuário tem três opções distintas de trajetórias a seguir. No primeiro caminho, o usuário é direcionado para a Tela 2, onde pode efetuar o cadastro de um participante, cujas informações serão armazenadas no banco de dados do aplicativo. Concluído o cadastro, o usuário é automaticamente encaminhado para a Tela 3, onde pode selecionar um dos três

protocolos de teste disponíveis. Uma vez feita a escolha do protocolo, o usuário é conduzido para a Tela 4, onde configura características essenciais do teste, incluindo a orientação do dispositivo (vertical ou horizontal), o local de apoio (mão ou mesa) e a mão a ser testada. Após a definição dessas características, o usuário segue então para a Tela 5, onde o teste é realizado. Nesta etapa, o participante visualiza de imediato uma contagem regressiva de 5 segundos antes do início do teste, que tem a duração de 30 segundos e registra cada toque na tela, juntamente com o momento e posição do toque. Concluído o teste, o aplicativo armazena os dados capturados no banco de dados e abre automaticamente a Tela 6, oferecendo a opção de exportar os resultados do teste. No segundo caminho, o usuário pode optar por acessar a Tela 7, onde é possível visualizar uma lista de todos os participantes cadastrados e escolher um deles para realizar o teste. A partir daí, o usuário é redirecionado para a Tela 3, repetindo os mesmos passos já mencionados no primeiro caminho. No terceiro caminho, o usuário é direcionado para a Tela 8, que exibe uma lista de todos os participantes cadastrados. Neste ponto, o usuário tem a possibilidade de selecionar um participante e exportar todos os resultados de todos os testes já realizados por este participante. As linhas contínuas indicam o avanço para a tela seguinte, ao passo que as linhas tracejadas representam o retorno para a tela anterior.

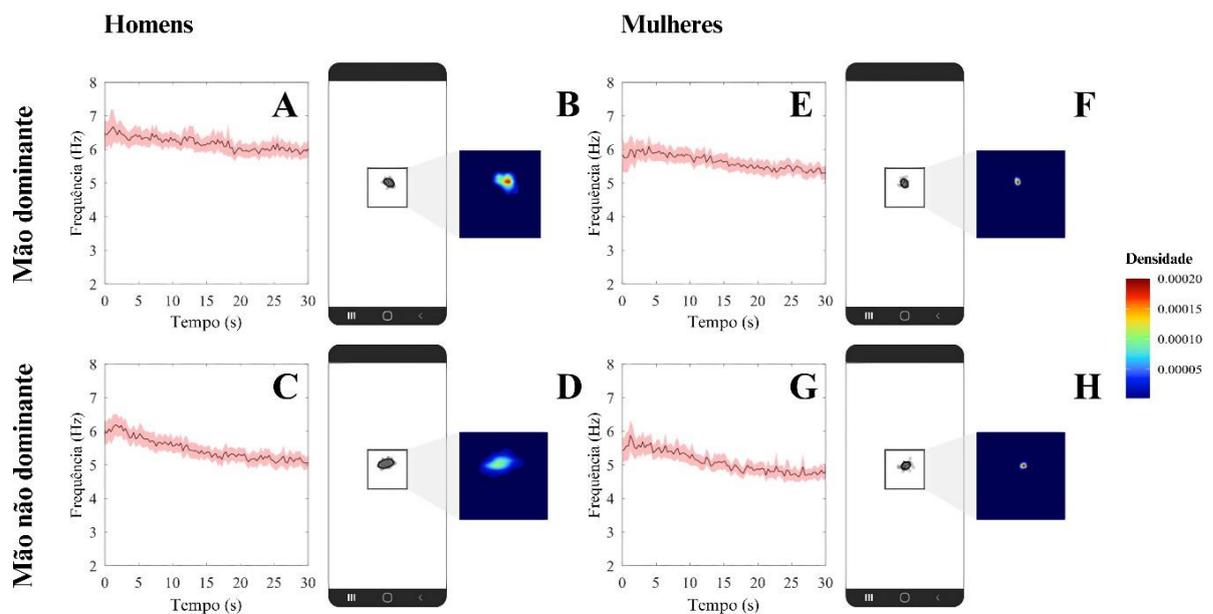
O aplicativo está disponível no endereço <https://play.google.com/store/search?q=Momentum%20Touch&c=apps> ou no QR code abaixo



4.2 RESULTADOS DO DESEMPENHO DOS PARTICIPANTES NO PROTOCOLO I

A Figura 6A-D mostra a série temporal média (\pm intervalo de confiança) da frequência de percussão durante a execução do teste para participantes masculinos e femininos usando as mãos dominante e não dominante. A frequência média foi máxima no início do teste e diminuiu ao longo da duração do teste. Além disso, a Figura 6E mostra um exemplo da distribuição espacial dos toques para um participante representativo.

Figura 6. Desempenho no Protocolo I do FTT proposto no estudo atual.



Fonte: elaborado pelo autor.

Onde (A) é a frequência FTT como função do tempo para a mão dominante dos homens; (B) Gráfico de estimativa de densidade kernel espacial gerado pelo FTT executado da mão dominante dos homens; (C) é a frequência FTT como função do tempo para a mão não dominante dos homens; (D) Gráfico de estimativa de densidade kernel espacial gerado pelo FTT executado da mão não dominante dos homens. (E) é a frequência FTT como função do tempo para a mão dominante das mulheres; (F) Gráfico de estimativa de densidade kernel

espacial gerado pelo FTT executado da mão dominante das mulheres; (G) é a frequência FTT como função do tempo para a mão não dominante das mulheres; (H) Gráfico de estimativa de densidade kernel espacial gerado pelo FTT executado da mão não dominante das mulheres. As cruzes pretas representam toques válidos, as cruzes vermelhas representam toques inválidos e as elipses vermelhas são elipses de confiança de 95% ajustadas aos dados. Esta mesma descrição se repete para as figuras 7 e 8.

A Tabela 1 mostra os resultados do protocolo I proposto para o FTT. O número de erros não foi significativamente influenciado pelo sexo e pela dominância manual, e nenhuma interação significativa entre os fatores foi observada (Friedman $Q_{(3,40)} = 1.2, p = 0.75$). O sexo influenciou significativamente o número total de toques (ANOVA $F_{(1,78)} = 17.97, p < 0.001$), a frequência média (ANOVA $F_{(1,78)} = 17.29, p < 0.001$) e o deslocamento total (ANOVA $F_{(1,78)} = 16.42, p < 0.001$). A dominância manual influenciou significativamente o número total de toques (ANOVA $F_{(1,78)} = 119.63, p < 0.001$), a frequência média (ANOVA $F_{(1,78)} = 149.55, p < 0.001$), a frequência mínima (ANOVA $F_{(1,78)} = 7.47, p = 0.007$), o deslocamento total (ANOVA $F_{(1,78)} = 116.31, p < 0.001$), a largura de banda X (ANOVA $F_{(1,78)} = 18.22, p < 0.001$) e a largura de banda Y (ANOVA $F_{(1,78)} = 30.16, p < 0.001$). A interação entre ambos os fatores foi significativa na frequência média (ANOVA $F_{(1,78)} = 4.20, p = 0.04$), frequência mínima (ANOVA $F_{(1,78)} = 9.28, p = 0.003$), eixo maior (ANOVA $F_{(1,78)} = 88.28, p < 0.001$), eixo menor (ANOVA $F_{(1,78)} = 96.67, p < 0.001$) e área da elipse (ANOVA $F_{(1,78)} = 141.09, p < 0.001$). Na variável de densidade de pico, foram encontradas diferenças significativas (Friedman $Q_{(3,40)} = 18.8, p < 0.001$), nas quais para ambos os sexos houve diferenças significativas entre as mãos dominante e não dominante.

Tabela 1. Estatísticas descritivas [mediana (intervalo interquartil)] dos parâmetros globais, temporais e espaciais para o Protocolo I.

	Mulheres		Homens		Tamanho de efeito significativo
	MD	MND	MD	MND	
<i>Parâmetros globais</i>					
Número total de toques	169 (22.5)	148.5 (21.5)	184 (17.5)	162.5 (23)	Sexo, Dominância manual
Número de erros	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	Nenhum
<i>Parâmetros temporais</i>					
Frequência média	5.75 (0.73)	5.06 (0.60)	6.23 (0.49)	5.46 (0.77)	Sexo, Dominância manual, Interação
Frequência máxima	7.72 (1.83)	7.12 (4.18)	8.55 (2.43)	8.00 (1.64)	Nenhum
Frequência mínima	3.62 (1.05)	4.57 (0.79)	4.48 (1.33)	4.10 (0.86)	Dominância manual, Interação
<i>Parâmetros espaciais</i>					
Deslocamento total	7529.70 (1081.28)	6682.23 (846.56)	8171.38 (828.49)	7243.70 (1057.14)	Sexo, Dominância manual
Eixo maior	2.70 (1.28)	3.09 (1.07)	2.98 (1.08)	2.84 (0.90)	Interação
Eixo menor	1.74 (0.65)	2.16 (0.70)	1.99 (0.61)	1.97 (0.79)	Interação
Área	14.03 (9.74)	22.25 (13.21)	19.24 (13.24)	18.55 (9.46)	Interação
Densidade de pico	3.03 (2.17)	2.09 (1.78)	2.52 (2.3)	1.99 (1.46)	Nenhum
Largura de banda X	38.52 (15.90)	45.42 (20.60)	39.18 (19.65)	42.56 (18.16)	Dominância manual
Largura de banda Y	33.38 (14.00)	40.26 (16.08)	35.82 (18.91)	41.96 (22.94)	Dominância manual

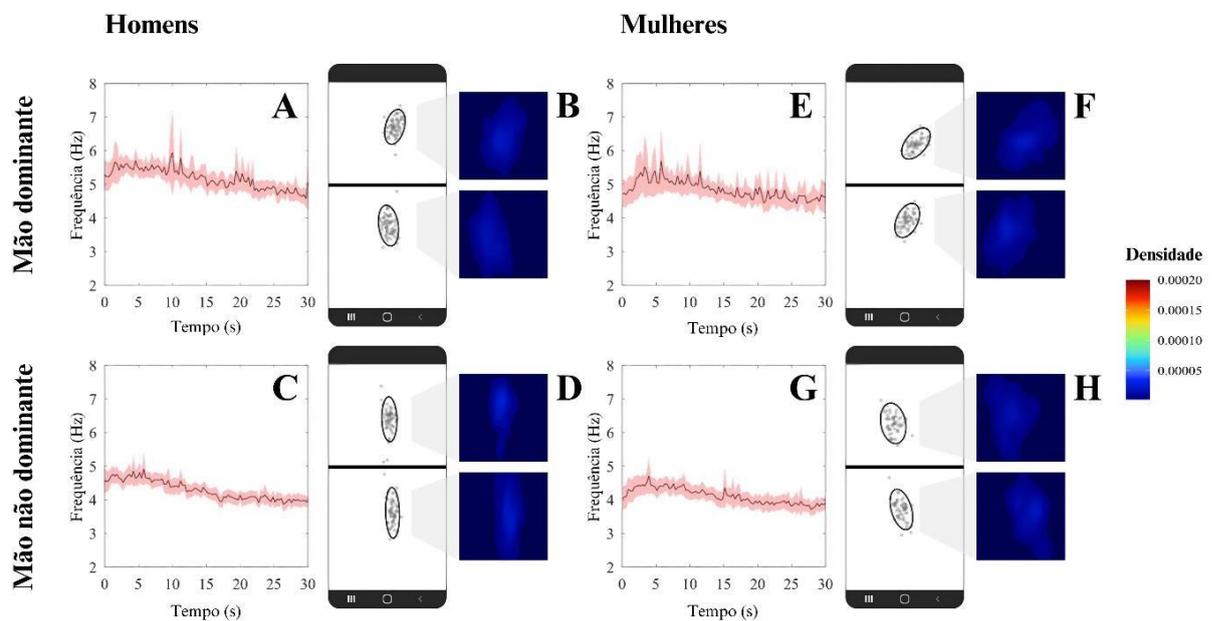
MD: mão dominante; MND: mão não dominante.

Variáveis globais e temporais apresentaram efeitos significativos mais frequentes e de maior tamanho de efeito da dominância manual, enquanto as variáveis espaciais apresentaram tamanhos de efeito maiores e mais frequentes da interação entre os fatores.

4.3 RESULTADOS DO DESEMPENHO DOS PARTICIPANTES NO PROTOCOLO II

A Figura 7A-D mostra a série temporal média (\pm intervalo de confiança) da frequência de toques durante a execução do teste para participantes masculinos e femininos usando as mãos dominante e não dominante. Aqui, a frequência média também atingiu valores mais altos nos primeiros 5 segundos do teste e decaiu ao longo do teste. A Figura 7E mostra um exemplo da distribuição espacial das batidas em ambos os lados da tela para um participante representativo.

Figura 7. Desempenho no Protocolo II do FTT proposto no estudo atual.



Fonte: elaborado pelo autor.

A Tabela 2 mostra os resultados do protocolo II proposto para FTT. O número de erros não foi significativamente influenciado pelo sexo e dominância manual, e nenhuma interação significativa entre os fatores foi observada (Friedman $Q_{(3,40)} = 3.06$, $p = 0.38$). O sexo

influenciou significativamente a dispersão total (ANOVA $F_{(1,78)} = 4.05, p = 0.04$), eixo maior 1 (ANOVA $F_{(1,78)} = 14.37, p < 0.001$) e eixo maior 2 (ANOVA $F_{(1,78)} = 7.12, p = 0.008$). A dominância manual influenciou significativamente o número total de toques (ANOVA $F_{(1,78)} = 202.30, p < 0.001$), frequência mediana (ANOVA $F_{(1,78)} = 393.71, p < 0.001$), frequência máxima (Friedman $Q_{(3,40)} = 37.97, p < 0.001$), frequência mínima (ANOVA $F_{(1,78)} = 6.85, p = 0.01$), dispersão total (ANOVA $F_{(1,78)} = 214.67, p < 0.001$), eixo menor 1 (ANOVA $F_{(1,78)} = 6.57, p = 0.01$), área da elipse 1 (ANOVA $F_{(1,78)} = 5.39, p = 0.02$), largura de banda Y 1, eixo maior 2 (ANOVA $F_{(1,78)} = 12.64, p < 0.001$), largura de banda Y 1 (ANOVA $F_{(1,78)} = 20.92, p < 0.001$) e Y 2 (ANOVA $F_{(1,78)} = 21.80, p < 0.001$). A interação entre ambos os fatores foi significativa na frequência mediana (ANOVA $F_{(1,78)} = 5.52, p = 0.02$), eixo menor 1 (ANOVA $F_{(1,78)} = 10.59, p = 0.002$) e eixo menor 2 (ANOVA $F_{(1,78)} = 34.02, p < 0.001$), área da elipse 1 (ANOVA $F_{(1,78)} = 11.66, p = 0.001$) e largura de banda Y 2 (ANOVA $F_{(1,78)} = 4.47, p = 0.04$).

Tabela 2. Estatísticas descritivas [mediana (intervalo interquartil)] dos parâmetros globais, temporais e espaciais para o Protocolo II.

	Mulheres		Homens		Tamanho do efeito significativo
	MD	MND	MD	MND	
<i>Parâmetros globais</i>					
Número total de toques	138 (23.25)	118 (21.5)	153 (26)	128.5 (17.5)	Dominância manual
Número de erros	0 (1.25)	0 (1)	1 (3.25)	0 (2)	Nenhum
<i>Parâmetros temporais</i>					
Frequência média	4.80 (0.63)	4.1 (0.85)	5.22 (0.87)	4.42 (0.57)	Dominância manual, Interação
Frequência máxima	6.16 (0.84)	5.80 (1.76)	7.31 (8.82)	5.71 (1.25)	Nenhum
Frequência mínima	2.42 (2.12)	2.32 (1.19)	2.76 (1.95)	2.37 (1.04)	Dominância manual
<i>Parâmetros espaciais</i>					
Deslocamento total	6289.24 (1271.43)	5350.08 (964.54)	6856.21 (794.73)	5806.12 (807.19)	Sexo, Dominância manual
Eixo maior 1	9.13 (4.79)	9.62 (4.55)	9.82 (5.03)	10.88 (3.94)	Sexo

Eixo menor 1	4.23 (1.88)	4.36 (1.84)	4.84 (3.46)	4.68 (1.7)	Dominância manual, Interação
Área 1	118.48 (71.68)	118.48 (98.85)	159.92 (162.77)	174.25 (106.93)	Dominância manual, Interação
Eixo maior 2	8.93 (3.78)	7.86 (5.04)	10.07 (4.46)	10.96 (5.23)	Sexo, Dominância manual
Eixo menor 2	4.06 (1.83)	4.35 (2.33)	4.69 (1.98)	4.41 (1.84)	Interação
Área 2	102.96 (102.83)	125.17 (83.21)	131.22 (89.97)	169.00 (109.95)	Nenhum
Pico de densidade area 1	2.95 (1.51)	2.22 (0.90)	2.41 (1.69)	2.10 (1.3)	Nenhum
Largura de banda X area 1	97.94 (38.35)	106.06 (38.89)	103.73 (41.87)	109.23 (48.45)	Sexo, Dominância manual
Largura de banda Y area 1	162.27 (53.23)	192.02 (44.45)	184.88 (61.71)	207.70 (82.41)	Dominância manual, Interação
Pico de densidade area 2	2.7 (2.1)	2.4 (1.7)	2.6 (2.2)	2.2 (1.5)	Nenhum
Largura de banda X area 2	96.59 (44.01)	109.45 (44.87)	106.14 (42.83)	107.31 (37.55)	Nenhum
Largura de banda Y area 2	163.03 ⁵ (74.23)	184.21 (61.30)	161.28 ⁵ (54.73)	206.13 (110.91)	Nenhum

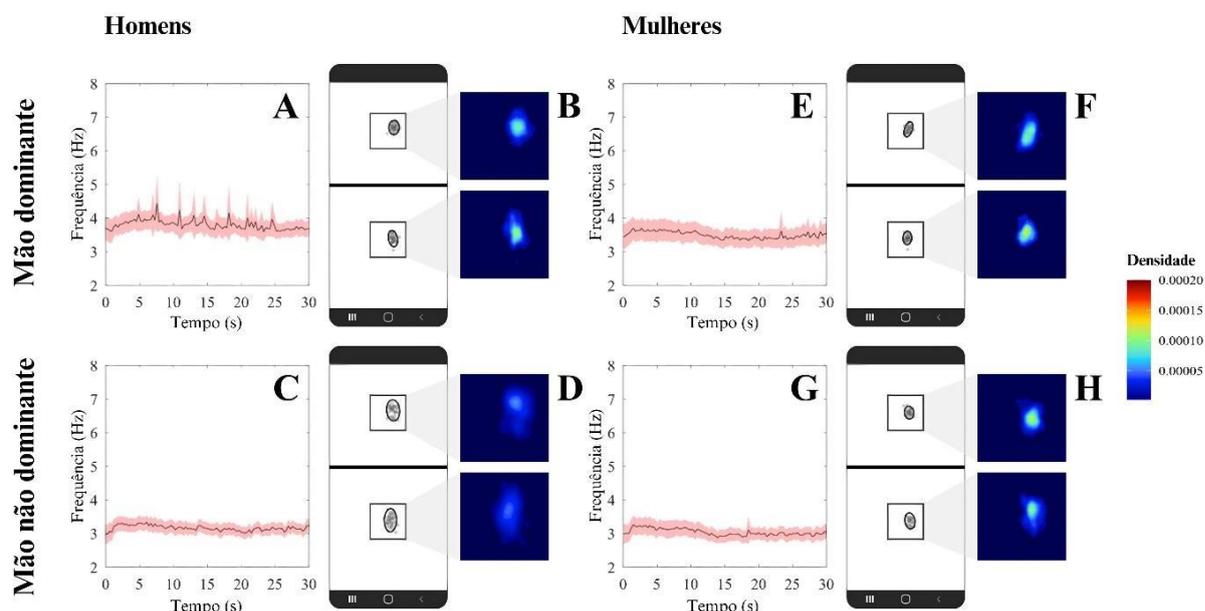
MD: mão dominante; MND: mão não dominante.

A dominância manual mostrou tamanhos de efeito mais significativos e maiores sobre as variáveis globais, temporais e espaciais do que os outros fatores.

4.4 RESULTADOS DO DESEMPENHO DOS PARTICIPANTES NO PROTOCOLO III

A figura 8A-D mostra a série temporal média (\pm intervalo de confiança) da frequência de batimento durante a execução do teste para participantes do sexo masculino e feminino usando as mãos dominante e não dominante. A frequência de toques foi mantida constante durante todo o teste neste protocolo. A figura 8E mostra um exemplo da distribuição espacial dos toques em ambos os alvos para um participante representativo.

Figure 8. Desempenho no Protocolo III do FTT proposto no estudo atual.



Fonte: elaborado pelo autor.

A Tabela 3 apresenta os resultados do protocolo III que propusemos para o FTT. O número de erros não foi significativamente influenciado pelo sexo e pela dominância manual e não foi observada interação significativa entre os fatores (Friedman $Q_{(3,40)} = 6.81$, $p = 0.08$). O sexo influenciou significativamente o eixo menor 1 (ANOVA $F_{(1,78)} = 11.87$, $p < 0.001$) e o eixo menor 2 (ANOVA $F_{(1,78)} = 7.63$, $p = 0.007$), área da elipse 1 (ANOVA $F_{(1,78)} = 5.16$, $p < 0.001$) e 2 (ANOVA $F_{(1,78)} = 9.70$, $p = 0.002$). A dominância manual influenciou significativamente o número total de toques (ANOVA $F_{(1,78)} = 118.71$, $p < 0.001$), frequência média (ANOVA $F_{(1,78)} = 290.15$, $p = 0.03$), frequência mínima (ANOVA $F_{(1,78)} = 26.80$, $p < 0.001$), dispersão total (ANOVA $F_{(1,78)} = 112.87$, $p < 0.001$), eixo maior 1 (ANOVA $F_{(1,78)} = 4.66$, $p = 0.03$), largura de banda X 1 (ANOVA $F_{(1,78)} = 25.73$, $p < 0.001$), largura de banda Y 1 (ANOVA $F_{(1,78)} = 17.56$, $p < 0.001$), eixo menor 2 (ANOVA $F_{(1,78)} = 18.35$, $p < 0.001$), área da elipse 2 (ANOVA $F_{(1,78)} = 4.84$, $p = 0.03$), largura de banda X 2 (ANOVA $F_{(1,78)} = 17.27$, $p < 0.001$) e largura de banda Y 2 (ANOVA $F_{(1,78)} = 15.77$, $p < 0.001$). A interação entre ambos os fatores foi significativa na

frequência média (ANOVA $F_{(1,78)} = 7.61$, $p = 0.007$) e no eixo maior 1 (ANOVA $F_{(1,78)} = 6.02$, $p = 0.02$).

Tabela 3. Estatísticas descritivas [mediana (intervalo interquartil)] dos parâmetros globais, temporais e espaciais para o Protocolo III.

	Mulheres		Homens		Tamanho de efeito significativo.
	MD	MND	MD	MND	
<i>Parâmetros Globais</i>					
Número total de toques	99 (43.50)	86 (31.25)	111 (29.25)	91.5 (19.75)	Dominância manual
Número de erros	1 (3.25)	1.5 (8.75)	2 (8.25)	3 (9)	Nenhum
<i>Parâmetros Temporais</i>					
Frequência média	3.60 (1.04)	3.10 (0.89)	3.79 (1.08)	3.25 (0.62)	Dominância manual, Interação
Frequência máxima	6.25 (1.12)	4.98 (0.6)	4.99 (1.13)	4.83 (0.24)	Nenhum
Frequência mínima	2.20 (0.83)	2.06 (0.56)	2.30 (1.01) ⁹	1.79 (0.42)	Dominância manual
<i>Parâmetros espaciais</i>					
Dispersão total	4489.62 (1884.95)	4061.68 (1253.50)	4999.15 (1508.71)	4138.80 (876.3)	Dominância manual
Eixo maior 1	4.92 (1.04)	4.96 (0.87)	4.74 (1.10)	4.91 (1.01)	Dominância manual, Interação
Eixo menor 1	3.64 (1.53)	3.29 (1.25)	2.63 (1.05)	2.96 (0.84)	Sexo
Área 1	57.65 (32.00)	50.33 (30.28)	40.40 (20.50)	46.08 (16.98)	Sexo
Eixo maior 2	5.1 (0.86)	4.92 (1.89)	4.76 (1.38)	5.8 (0.62)	Nenhum
Eixo menor 2	3.51 (1.66)	2.78 (1.34)	2.57 (1.04)	3.34 (0.91)	Sexo, Dominância manual
Área 2	56.41 (33.32)	41.58 (34.92)	36.98 (22.72)	59.58 (23.24)	Sexo, Dominância manual
Densidade de pico area 1	6.01 (4.00)	6.64 (4.90)	6.09 (6.18)	4.89 (2.98)	Nenhum
Largura de banda X area 1	61.92 (17.93)	69.90 (28.62)	62.80 (27.19)	71.18 (19.18)	Dominância manual
Largura de banda Y area 1	114.28 (45.38)	123.76 (36.83)	123.42 (39.37)	141.46 (47.54)	Dominância manual
Densidade de pico area 2	6.55 (3.86)	7.81 (5.27)	6.64 (4.86)	5.38 (3.61)	Nenhum

Largura de banda X area 2	61.96 (24.54)	68.31 (28.23)	63.90 (20.25)	71.37 (23.30)	Dominância manual
Largura de banda Y area 2	116.20 (40.70)	127.67 (43.34)	130.60 (46.71)	139.32 (43.97)	Dominância manual

MD: mão dominante; MND: mão não dominante.

A dominância manual mostrou tamanhos de efeito mais significativos e maiores nas variáveis globais, temporais e espaciais do que os outros fatores.

5 DISCUSSÃO

A dominância manual e o sexo são fatores reconhecidos que influenciam o desempenho no FTT usando diferentes instrumentos (Hubel et al., 2013). A novidade da presente investigação é uma descrição detalhada da influência da dominância manual e do sexo nos parâmetros globais, temporais e espaciais obtidos a partir de três designs espaciais de FTT baseados em *smartphone* em adultos.

Os resultados comuns nos três protocolos foram: (i) o número total de toques, frequência mínima, deslocamento total e largura de banda Y foram melhorados pela dominância manual; e (ii) a frequência mediana foi significativamente influenciada por uma interação entre sexo e dominância manual, na qual os homens usando a mão dominante tiveram melhor desempenho no FTT. Para o Protocolo I, o resultado mais comum foi a presença de um efeito principal significativo de sexo e dominância manual nas variáveis.

O uso de *smartphones* como instrumentos para realizar o FTT é um avanço revolucionário no método, pois permite o desenvolvimento de diferentes desenhos de testes de toque com os dedos e a adição de novos parâmetros à análise clássica. Na presente investigação, desenhamos três protocolos para FTT baseados em *smartphones*. O Protocolo I é o protocolo mais semelhante em comparação com as abordagens clássicas, porque o participante teve que tocar em um lugar específico para ser tão rápido e preciso quanto possível. Os resultados que observamos para os parâmetros temporais são qualitativamente semelhantes aos observados anteriormente usando teclas de telégrafo (Cousins et al., 1998), teclados (Hubel et al., 2013) e análise de vídeo (Prigatano et al., 2020): os homens tiveram melhor desempenho do que as mulheres e as mãos dominantes tiveram melhor desempenho do que as mãos não dominantes.

Os outros dois protocolos que desenvolvemos (protocolos II e III) não podem ser comparados às configurações clássicas do FTT, porque são compostos por testes que solicitam toques alternados em duas regiões próximas e poucas investigações usando o FTT baseado em

smartphones são comparáveis a esses desenhos. O FTT baseado em smartphones pode ser agrupado em testes que usam um alvo (Bermeo et al., 2017) e dois alvos (Lee et al., 2016; Arora et al., 2015; Mitsi et al., 2017; Wissel et al., 2018; Zhang et al., 2018; Lipsmeier et al., 2018; Prince et al., 2018; Alberts et al., 2021). Os testes que usaram dois alvos também diferiram da tarefa para tocar usando um ou dois dedos para movimentos alternados e somente Lee et al. (2016) têm uma descrição mais detalhada das dimensões espaciais do desenho do teste.

Todos esses estudos utilizando o FTT baseado em *smartphone* avaliaram o desempenho de pacientes com algumas doenças, especialmente a doença de Parkinson e não enfatizaram a influência da dominância manual e do sexo no desempenho. A presente investigação é uma primeira abordagem para descrever as características básicas do FTT baseado em *smartphone* na população adulta.

As mãos dominantes são consistentemente relatadas como tendo melhor desempenho do que as não dominantes no FTT (Peters et al., 1996; Todor et al., 1987; Schmidt et al., 2000; Teixeira, 2008; Hubel et al., 2013). Correlatos corticais parecem estar associados ao desempenho diferenciado considerando a dominância manual. Foi sugerido que fibras pré-corticais mais fortemente mielinizadas e mais espacialmente coerentes do hemisfério esquerdo em pessoas destros seriam um substrato da dominância hemisférica (Kang et al., 2011). Além disso, assimetrias hemisféricas nos limiares para elicitar potenciais evocados motores também estão associados à dominância manual (Triggs et al., 1997).

Algumas descobertas indicam que canhotos são menos lateralizados do que destros (Karlsson et al., 2019; Johnstone et al. 2021). A diferença no desempenho do FTT entre os sexos geralmente é relatada (Peters et al., 1996; Ruff et al., 1993; Christianson et al., 2004), mas não está claro por que homens e mulheres diferem no desempenho do FTT. Muitas descobertas funcionais e anatômicas nos sistemas motores não mostraram diferenças entre os sexos (Kang et al., 2011; Christianson et al., 2004; Tobimatsu et al., 1998) mas algumas investigações

indicaram maior inibição transcortical em mulheres do que em homens, sugerindo diferenças na conectividade inter-hemisférica (De Gennaro et al., 2004), assim como o volume de matéria cinzenta cerebelar foi maior em homens do que em mulheres (Fan et al., 2010).

A falta de canhotos e pessoas com outras faixas etárias são limitações do presente estudo e futuros estudos com foco neles podem ser interessantes. Considerando que o uso de tecnologia de tela sensível ao toque é relativamente novo, mais informações podem ser extraídas no futuro, além de diferentes designs para melhorar habilidades motoras específicas durante o FTT.

Os testes de FTT baseados em *smartphones* representam uma oportunidade de aplicar um importante teste neuropsicológico em uma ampla faixa da população, incluindo as pessoas mais pobres com menos acesso a instrumentos médicos mais sensíveis. Mesmo considerando que o sexo e a dominância manual têm influência parcial nas variáveis do FTT baseado em smartphone, nossos resultados reforçam a necessidade de criar normas para homens e mulheres com consideração adicional sobre a dominância manual, ou criar modelos para compensar as diferenças associadas a esses fatores. Mais estudos básicos e clínicos para FTT baseados em smartphones podem ajudar na avaliação das variáveis que poderiam otimizar seu poder diagnóstico.

6 CONCLUSÃO

O FTT realizado em smartphones apresentou efeito do sexo e da dominância manual em todos os protocolos propostos no presente estudo. Esses efeitos devem ser levados em consideração quando o teste for aplicado clinicamente.

7 REFERÊNCIAS

1. Schmitt, L. (2013). Finger-Tapping Test. In: Volkmar, F.R. (eds) Encyclopedia of Autism Spectrum Disorders. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1698-3_343
2. Schatz P. Finger Tapping Test. Encyclopedia of Clinical Neuropsychology, 1050–1051 (2011).
3. Hubel KA, Reed B, Yund EW, Herron TJ, Woods DL. Computerized measures of finger tapping: effects of hand dominance, age, and sex. *Percept Mot Skills*. 2013; 116, 929–952.
4. Wells FL. Normal performance in the tapping test: before and during practice, with special reference to fatigue phenomenon. *Am J Psychol* 19, 437-483 (1908).
5. Akram N, Li H, Ben-Joseph A, Budu C, Gallagher DA, Bestwick JP, Schrag A, Noyce AJ, Simonet C. Developing and assessing a new web-based tapping test for measuring distal movement in Parkinson's disease: a Distal Finger Tapping test. *Sci Rep*. 2022; 12, 386.
6. Okuno, R., Yokoe, M., Akazawa, K., Abe, K., & Sakoda, S. Finger taps movement acceleration measurement system for quantitative diagnosis of Parkinson's disease. Conference proceedings: Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual Conference, Suppl, 6623–6626 (2006).
7. Jobbágy, A., Harcos, P., Karoly, R., & Fazekas, G. Analysis of finger-tapping movement. *J Neurosci Methods* 141, 29–39 (2005).
8. Bronte-Stewart, H. M., Ding, L., Alexander, C., Zhou, Y., & Moore, G. P. Quantitative digitography (QDG): a sensitive measure of digital motor control in idiopathic Parkinson's disease. *Mov Disord* 15, 36–47 (2000).
9. Lee CY, Kang SJ, Hong SK, Ma HI, Lee U, Kim YJ. A Validation Study of a Smartphone-Based Finger Tapping Application for Quantitative Assessment of Bradykinesia in Parkinson's Disease. *PloS One*. 2016; 11, e0158852.

10. Bohannon RW, Wang I. Measurement of finger tapping performance using a smartphone application: a pilot study. *J Phys Ther Sci.* 2011; 33, 618–620.
11. Alberts JL, Koop MM, McGinley MP, Penko AL, Fernandez HH, Shook S, Bermel RA, Machado A, Rosenfeldt AB. Use of a Smartphone to Gather Parkinson's Disease Neurological Vital Signs during the COVID-19 Pandemic. *Parkinsons Dis.* 2021; 5534282.
12. Surangsrirat D, Sri-Iesaranusorn P, Chaiyaroj A, Vateekul P, Bhidayasiri R. Parkinson's disease severity clustering based on tapping activity on mobile device. *Sci Rep.* 2022; 12, 3142.
13. Messan KS, Pham L, Harris T, Kim Y, Morgan V, Kosa P, Bielekova B. Assessment of Smartphone-Based Spiral Tracing in Multiple Sclerosis Reveals Intra-Individual Reproducibility as a Major Determinant of the Clinical Utility of the Digital Test. *Front Med Technol;* 2022; 3, 714682.
14. Boukhvalova AK, Kowalczyk E, Harris T, Kosa P, Wichman, A, Sandford MA, Memon A, Bielekova B. Identifying and Quantifying Neurological Disability via Smartphone. *Frontiers in neurology.* 2018; 9, 740. <https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00740>
15. Bermeo A, Bravo M, Huerta M, Bermeo J, Punin B, Barzallo B. Statistical characterization of the finger tapping test using an android mobile app, 2017 IEEE Second Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM), 2017, 1-6, doi: 10.1109/ETCM.2017.8247459.
16. Arora S, Venkataraman V, Zhan A, Donohue S, Biglan KM, Dorsey ER, Little, MA. Detecting and monitoring the symptoms of Parkinson's disease using smartphones: A pilot study. *Parkinsonism Relat Disord.* 2015; 21, 650–653.
17. Mitsi G, Mendoza EU, Wissel BD, Barbopoulou E, Dwivedi AK, Tsoulos I, Stavrakoudis A, Espay AJ, Papapetropoulos S. Biometric Digital Health Technology for Measuring Motor Function in Parkinson's Disease: Results from a Feasibility and Patient Satisfaction Study. *Front Neurol.* 2017; 8, 273.

18. Wissel BD, Mitsi G, Dwivedi AK, Papapetropoulos S, Larkin S, López Castellanos JR, Shanks E, Duker AP, Rodriguez-Porcel F, Vaughan JE, Lovera L, Tsoulos I, Stavrakoudis A, Espay AJ. Tablet-Based Application for Objective Measurement of Motor Fluctuations in Parkinson Disease. *Digit Biomark*. 2018; 1, 126–135.
19. Zhang L, Lei L, Zhao Y, Wang R, Zhu Y, Yu Z, Zhang X. Finger Tapping Outperforms the Traditional Scale in Patients With Peripheral Nerve Damage. *Front Physiol*. 2018; 9, 1361.
20. Lipsmeier F, Taylor KI, Kilchenmann T, Wolf D, Scotland A, Schjodt-Eriksen J, Cheng WY, Fernandez-Garcia I, Siebourg-Polster J, Jin L, Soto J, Verselis L, Boess F, Koller M, Grundman M, Monsch AU, Postuma RB, Ghosh A, Kremer T, Czech C, Lindemann M. Evaluation of smartphone-based testing to generate exploratory outcome measures in a phase 1 Parkinson's disease clinical trial. *Mov Disord*. 2018; 33, 1287–1297.
21. Prince J, Vos M. A Deep Learning Framework for the Remote Detection of Parkinson's Disease Using Smart-Phone Sensor Data. 2018 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. 2018; 3144-3147.
22. Alberts, J. L., Koop, M. M., McGinley, M. P., Penko, A. L., Fernandez, H. H., Shook, S., Bermel, R. A., Machado, A., & Rosenfeldt, A. B. (2021). Use of a Smartphone to Gather Parkinson's Disease Neurological Vital Signs during the COVID-19 Pandemic. *Parkinsons Dis* 5534282 (2021).
23. Veale JF. Edinburgh Handedness Inventory - Short Form: a revised version based on confirmatory factor analysis. *Laterality*. 2014; 19(2), 164–177. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2013.783045>
24. Venables, W. N. & Ripley, B. D. (2002) *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0
25. Douglas Bates, Martin Maechler, Ben Bolker, Steve Walker (2015). *Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4*. *J Stat Soft*. 2015; 67(1), 1-48. doi:10.18637/jss.v067.i01.

26. Kuznetsova A, Brockhoff PB, Christensen RHB. lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. *J Stat Soft.* 2017; 82(13), 1-26. doi:10.18637/jss.v082.i13.
27. Lüdtke, Makowski, Waggoner & Patil (2020). Assessment of Regression Models Performance. CRAN. Available from <https://easystats.github.io/performance/>
28. Cousins, M. S., Corrow, C., Finn, M., & Salamone, J. D. (1998). Temporal measures of human finger tapping: effects of age. *Pharmacology, biochemistry, and behavior*, 59(2), 445–449. [https://doi.org/10.1016/s0091-3057\(97\)00443-7](https://doi.org/10.1016/s0091-3057(97)00443-7)
29. Prigatano GP, Goncalves C, de Oliveira SB, Denucci SM, Pereira RM, Braga LW. Kinematic recordings while performing a modified version of the Halstead Finger Tapping Test: Age, sex, and education effects. *J Clin Exp Neuropsychol.* 2020; 42(1), 42–54. <https://doi.org/10.1080/13803395.2019.1665170>
30. Peters, M., & Campagnaro, P. Do women really excel over men in manual dexterity? *J Exp Psychol*, 22, 1107–1111 (1996). <https://doi.org/10.1037/0096-1523.22.5.1107>
31. Todor, J.I, Smiley-Oyen, A.L. Force modulation as a source of hand differences in rapid finger tapping. *Acta Psychol*, 65, 65-73 (1987).
32. Schmidt, S.L., Oliveira, R.M., Krahe, T.E., Filgueiras, C.C. The effects of hand preference and gender on finger tapping performance asymmetry by the use of an infra-red light measurement device. *Neuropsychol*, 38, 529-34 (2000). doi: 10.1016/s0028-3932(99)00120-7.
33. Teixeira, L.A. Categories of manual asymmetry and their variation with advancing age. *Cortex*, 44, 707-16 (2008). doi: 10.1016/j.cortex.2006.10.002.
34. Kang, X., Herron, T.J., Woods, D.L. Regional variation, hemispheric asymmetries and gender differences in pericortical white matter. *Neuroimage*, 56, 2011-23 (2011). doi: 10.1016/j.neuroimage.2011.03.016.

35. Triggs, W.J., Calvanio, R., Levine, M. Transcranial magnetic stimulation reveals a hemispheric asymmetry correlate of intermanual differences in motor performance. *Neuropsychol.* 35,1355-63 (1997). doi: 10.1016/s0028-3932(97)00077-8.
36. Karlsson EM, Johnstone LT, Carey DP. The depth and breadth of multiple perceptual asymmetries in right handers and non-right handers. *Laterality.* 2019; 24, 707-739. doi:10.1080/1357650X.2019.1652308.
37. Johnstone LT, Karlsson EM, Carey DP. Left-handers are less lateralized than right-handers for both left and right hemispheric functions. *Cereb Cortex.* 2021; 31, 3780-3787. doi:10.1093/cercor/bhab048.
38. Ruff, R.M., Parker, S.B. Gender- and age-specific changes in motor speed and eye-hand coordination in adults: normative values for the Finger Tapping and Grooved Pegboard Tests. *Percept Mot Skills,* 76, 1219-1230 (1993). doi:10.2466/pms.1993.76.3c.1219.
39. Christianson, M. K., Leathem, J. M. Development and standardisation of the computerised finger tapping test: comparison with other finger tapping instruments. *New Zealand J Psychol,* 33, 44-49 (2004).
40. Tobimatsu, S., Sun, S.J., Fukui, R., Kato, M. Effects of sex, height and age on motor evoked potentials with magnetic stimulation. *J Neurol,* 245, 256-261 (1998). doi:10.1007/s004150050215.
41. Robinson, L.R., Rubner, D.E., Wahl, P.W., Fujimoto, W.Y., Stolov, W.C. Influences of height and gender on normal nerve conduction studies. *Arch Phys Med Rehabil,* 74, 1134-1138 (1993).
42. De Gennaro, L., Bertini, M., Pauri, F., Cristiani, R., Curcio, G., Ferrara, M., & Rossini, P. M. Callosal effects of transcranial magnetic stimulation (TMS): the influence of gender and stimulus parameters. *Neurosci Res,* 48, 129-137 (2004). <https://doi.org/10.1016/j.neures.2003.10.004>.

43. Fan, L., Tang, Y., Sun, B., Gong, G., Chen, Z. J., Lin, X., Yu, T., Li, Z., Evans, A. C., & Liu, S. Sexual dimorphism and asymmetry in human cerebellum: an MRI-based morphometric study. *Brain Res*, 1353, 60–73 (2010). <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.07.031>.
44. Roalf DR, Rupert P, Mechanic-Hamilton D, Brennan L, Duda JE, Weintraub D, Trojanowski JQ, Wolk D, Moberg PJ. Quantitative assessment of finger tapping characteristics in mild cognitive impairment, Alzheimer's disease, and Parkinson's disease. *J Neurol*. 2018 Jun;265(6):1365-1375. doi: 10.1007/s00415-018-8841-8.
45. Hubel KA, Yund EW, Herron TJ, Woods DL. Computerized measures of finger tapping: reliability, malingering and traumatic brain injury. *J Clin Exp Neuropsychol*. 2013;35(7):745-58. doi: 10.1080/13803395.2013.824070.
46. Guo Z, Zeng W, Yu T, Xu Y, Xiao Y, Cao X, Cao Z. Vision-Based Finger Tapping Test in Patients With Parkinson's Disease via Spatial-Temporal 3D Hand Pose Estimation. *IEEE J Biomed Health Inform*. 2022 Aug;26(8):3848-3859. doi: 10.1109/JBHI.2022.3162386.
47. Térémetz M, Colle F, Hamdoun S, Maier MA, Lindberg PG. A novel method for the quantification of key components of manual dexterity after stroke. *J Neuroeng Rehabil*. 2015 Aug 2;12:64. doi: 10.1186/s12984-015-0054-0.
48. Hiraoka K, Igawa K, Kashiwagi M, Nakahara C, Oshima Y, Takakura Y. The laterality of stop and go processes of the motor response in left-handed and right-handed individuals. *Laterality*. 2018 Jan;23(1):51-66. doi: 10.1080/1357650X.2017.1311906.
49. Morita T, Asada M, Naito E. Right-hemispheric Dominance in Self-body Recognition is Altered in Left-handed Individuals. *Neuroscience*. 2020 Jan 15;425:68-89. doi: 10.1016/j.neuroscience.2019.10.056.
50. Makai-Bölöni, S., Thijssen, E., van Brummelen, E. M. J., Groeneveld, G. J., & Doll, R. J. (2021). Touchscreen-based finger tapping: Repeatability and configuration effects on tapping performance. *PloS one*, 16(12), e0260783. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260783>

51. Primi, R. (2003). Inteligência: avanços nos modelos teóricos e nos instrumentos de medida. *Avaliação Psicológica*, 2, 67-77.
52. Zago, L. C., Castro, L. S., & Gobbi, L. T. B. (2014). A fonoaudiologia e a doença de Parkinson. *Revista CEFAC*, 16(2), 740-748.
53. Boone, K. B., Lu, P., & Wen, J. (1990). Comparison of two tests of motor speed in traumatic brain injury: Finger tapping versus pegboard. *The Clinical Neuropsychologist*, 4(1), 33-42.
54. Bowie, C. R., Leung, W. W., Reichenberg, A., McClure, M. M., & Patterson. Sánchez-Cubillo, I., Periáñez, J. A., Adrover-Roig, D., Rodríguez-Sánchez, J. M., Ríos-Lago, M., Tirapu, J., & Barceló, F. (2009). Construct of validity of the Trail Making Test: role of task-switching, working memory, inhibition/interference control, and visuomotor abilities. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 15, 438-450.
55. Abdollahi, I., et al. (2017). A review of methods for assessing hand motor function in Parkinson's disease. *Computational and mathematical methods in medicine*, 2017.
56. Liu, Y., et al. (2021). A systematic review and meta-analysis of the finger tapping test for patients with Parkinson's disease. *Aging clinical and experimental research*, 33(3), 525-534.
- Abbruzzese, G., Morena, M., Spadavecchia, L., & Schieppati, M. (2002). "Essential tremor and vibration-induced illusion of movement." *Movement Disorders*, 17(2), 436-441.
57. Ardila, A., Rosselli, M., & Puente, A. (2000). "Neuropsychological evaluation of the Spanish speaker." New York: Springer.
58. Hultsch, D. F., Hertzog, C., Small, B. J., & Dixon, R. A. (2002). "Use it or lose it: engaged lifestyle as a buffer of cognitive decline in aging?" *Psychology and Aging*, 17(3), 664-677.
59. Liu, Z., Zhang, M., & Guo, X. (2018). "Performance of finger tapping test in patients with Parkinson's disease: A systematic review and meta-analysis." *Parkinsonism & Related Disorders*, 57, 31-36.

60. Seidler, R. D., Bernard, J. A., Burutolu, T. B., Fling B.W., Gordon M.T., Gwin J.T. Kwak, Y., Lipps, D.B. Motor control and aging: links to age-related brain structural, functional, and biochemical effects. *Neurosci Biobehav Rev.* 2010;34(5):721-33.
61. Stuss, D. T., Pogue, J., Buckle, L., & Levine, B. (1994). Characterization of stability of performance in patients with traumatic brain injury: Variability and consistency on reaction time and digit symbol tasks. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 16(1), 77-87.
62. Sweat, M., Garner, J., & McCallum, S. (2016). Psychomotor function and cognitive workload during simulated helicopter search and rescue tasks with night vision goggles. *Applied Ergonomics*, 53(Part A), 51-57.
63. Alvarez-Mora, M. I., Madrigal-Zapata, L., & Hernández-Jiménez, E. (2021). Application of Mobile Technologies in Clinical Psychology: A Systematic Review. *Frontiers in psychology*, 12, 636505.
64. Fong, S. S., Chan, A. H., Ng, S. S., & Tse, M. M. (2018). The reliability and validity of using a smartphone-based app, iHandy level, for measuring lumbar spine range of motion. *Journal of manipulative and physiological therapeutics*, 41(8), 705-711.
65. Mauro, T., Sherman, R. A., & Tenenbaum, G. (2018). Smartphone tapping applications as an indicator of fine motor function. *Journal of motor behavior*, 50(5), 495-502.
- Sweat, M., Garner, J., & McCallum, S. (2016). Psychomotor function and cognitive workload during simulated helicopter search and rescue tasks with night vision goggles. *Applied Ergonomics*, 53(Part A), 51-57.
66. Bryden, M. P. (1977). Measuring handedness with questionnaires. *Neuropsychologia*, 15(4-5), 617-624.
67. Goldman, R. J., O'Leary, D. S., & Sax, K. W. (2009). Gender differences in psychomotor performance: Tapping rate and pattern. *Perceptual and motor skills*, 108(3), 717-727.

68. Grouios, G., Tsorbatzoudis, H., Alexandris, K., & Zahariadis, P. (2004). The relationship between lateral preference and motor ability. *Perceptual and motor skills*, 98(2), 534-540.
- Heil, M., Osman, A., Wiegelmann, J., Rolke, B., & Hennighausen, E. (1998). Gender differences in mental rotation: A psychophysiological analysis. *Cognitive Brain Research*, 6(4), 351-360.
69. Hyde, K. L., Lerch, J., Norton, A., Forgeard, M., Winner, E., Evans, A. C., & Schlaug, G. (2009). The effects of musical training on structural brain development: A longitudinal study. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169(1), 182-186.
70. Jenkins, J. S., Shiers, S. I., & Zook, N. A. (1991). The relationship of hand preference to measures of musical aptitude and achievement. *Neuropsychologia*, 29(3), 315-327.
71. Li, Y., Fan, J., & Yang, J. (2013). Gender differences in motor performance and motor learning of fine motor skills.
72. Hubel, Kerry & Yund, E. & Herron, Timothy & Woods, David. (2013). Computerized measures of finger tapping: Reliability, malingering and traumatic brain injury. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*. 35. 10.1080/13803395.2013.824070.
73. Glegg, S. M., Holsti, L., Velikonja, D., Ansley, B., Brum, C., Sartor, D., ... & Wright, F. V. (2018). Evaluation of a virtual reality-based intervention for children with cerebral palsy to improve upper limb motor function. *Physical Therapy*, 98(8), 687-697.
74. Odeagbo, A. O., & Ebenezer, O. A. (2019). Neural correlates of attention during finger tapping task: An electroencephalographic study. *Journal of Motor Behavior*, 51(3), 277-284.
75. Rizzo, A. A., Kim, G. J., & Hwang, J. (2014). A SWOT analysis of the field of virtual reality rehabilitation and therapy. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 23(3), 247-264.
76. van der Helden, J., van der Meijden, O. A., Geraedts, V. J., & Gielen, C. C. (2020). EEG correlates of motor control: a systematic review of spatial and temporal features of EEG alpha and beta bands during dexterous movements. *Journal of Neural Engineering*, 17(1), 011001.

77. Leigh, E., Hume, D., & Jones, J. (2016). The Finger Tapping Test on smartphone: An investigation of timing accuracy. *Journal of Neuroscience Methods*, 267, 97-105.

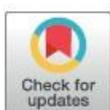
RESEARCH ARTICLE

The role of sex and handedness in the performance of the smartphone-based Finger-Tapping Test

Felipe André Costa Brito¹, Luis Carlos Pereira Monteiro¹, Enzo Gabriel Rocha Santos², Ramon Costa de Lima¹, Bruno Lopes Santos-Lobato³, André Santos Cabral⁴, Bianca Callegari⁵, Anselmo de Athayde Costa e Silva⁶, Givago Silva Souza^{1,7*}

1 Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Belém, Brazil, **2** Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Pará, Belém, Brazil, **3** Instituto de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Pará, Belém, Brazil, **4** Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade do Estado do Pará, Belém, Brazil, **5** Laboratório de Estudos do Movimento Humano, Instituto de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Pará, Belém, Brazil, **6** Programa de Pós-graduação em Ciências do Movimento Humano, Instituto de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Pará, Belém, Brazil, **7** Núcleo de Medicina Tropical, Universidade Federal do Pará, Belém, Brazil

* givagosouza@ufpa.br



OPEN ACCESS

Citation: Brito FAC, Monteiro LCP, Rocha Santos EG, de Lima RC, Santos-Lobato BL, Cabral AS, et al. (2023) The role of sex and handedness in the performance of the smartphone-based Finger-Tapping Test. *PLOS Digit Health* 2(8): e0000304. <https://doi.org/10.1371/journal.pdig.0000304>

Editor: Haleh Ayatollahi, Iran University of Medical Sciences, IRAN (ISLAMIC REPUBLIC OF)

Received: February 2, 2023

Accepted: June 20, 2023

Published: August 16, 2023

Peer Review History: PLOS recognizes the benefits of transparency in the peer review process; therefore, we enable the publication of all of the content of peer review and author responses alongside final, published articles. The editorial history of this article is available here: <https://doi.org/10.1371/journal.pdig.0000304>

Copyright: © 2023 Brito et al. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: All the data of this study are available at https://figshare.com/articles/dataset/FingerTapping_results_rar/21498279.

Abstract

The Finger Tapping Test (FTT) is a classical neuropsychological test that assesses motor functioning, and recently it has been employed using smartphones. For classical protocols, it has been observed that sex and handedness influence the performance during the test. By assessing the influence of sex and handedness on the test, it is possible to adjust the performance measurements to ensure the validity of test results and avoid sex- and handedness-related bias. The present study aimed to evaluate the influence of sex and handedness on smartphone-based FTT performance. We developed an Android application for the FTT and recruited 40 males and 40 females to carry out three spatial designs on it (protocols I, II, and III). Participants' performance was measured using the global, temporal, and spatial parameters of the FTT. We observed that for the performance in protocol I, handedness had a significant influence on global and temporal variables, while the interaction between handedness and sex had a greater influence on spatial variables. For protocols II and III, we observed that handedness had a significant influence on global, temporal, and spatial variables compared to the other factors. We concluded that the smartphone-based test is partly influenced by handedness and sex, and in clinical implications, these factors should be considered during the evaluation of the smartphone-based FTT.

Author summary

The finger tapping test is a test that measures how well someone can tap a surface quickly. It has been used for many years to evaluate motor function in people with neurological diseases. In the past, telegraph keys, computer mice, and keyboards were used to do the test. However, nowadays smartphones with touchscreens are often used. Before this

Funding: This work was supported by research grants from the Brazilian funding agencies: CNPq Edital Universal (#431748/2016-0, GSS), and Programa de Apoio à Publicação Qualificada from Federal University of Pará (GSS). GSS and BLSL are CNPq Fellow and receive productivity grants (protocol #408288/2022-1). The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

Competing interests: The authors have declared that no competing interests exist.

technology can be widely used in clinics, it's important to investigate factors that could affect the test results. Two factors that might impact the results are a person's sex and handedness, which is their preference for using one hand over the other. In this study, we investigated whether sex and handedness influence how well someone performs in the finger tapping test using a smartphone. We found that both sex and handedness play a role in how well someone performs, and in general, we observed that males using their dominant hand tend to perform the best on the test. These results suggest that it's important to consider a person's sex and handedness when interpreting the results of the smartphone-based finger tapping test.

Introduction

The Finger-Tapping Test (FTT) is a widely used neuropsychological test that assesses motor functioning, lateralized coordination, and motor speed [1]. This test involves the subject tapping their index finger on a surface as quickly as possible for a set period while keeping their hand resting on a board [2]. The original version of the test required participants to complete 10 trials with each hand, which made the test time-consuming. The original version measured the number of taps made in a set amount of time, but modifications to the test protocol, instruments, and analysis have been suggested over the years to shorten the test duration [3], adapt it to new technologies [2], and extract more features [4] from motor performance during the test.

The FTT is a widely used tool in both clinical and research settings for assessing various conditions that affect motor function and neurological health. It has been utilized to evaluate the effects of traumatic brain injury, stroke, Parkinson's disease, multiple sclerosis, and other neurological disorders [2,5–7]. This simple, non-invasive, and cost-effective test can be administered in various settings and provides valuable insights into the underlying neurological mechanisms that contribute to motor performance.

Initially, the telegraph key was commonly used to record finger taps during the FTT, however, alternative technologies have been proposed, such as the computer mouse [2], keyboard [8], and image-based motion [6]. In recent years, touchscreens from smartphones have emerged as a novel surface for performing the FTT. This approach offers several advantages and potential benefits over traditional methods. The widespread availability and portability of smartphones make it easier to administer the test remotely or in non-clinical settings. The use of smartphones allows for standardization of test administration, as the device can be programmed to deliver the test in a consistent and reproducible manner. Furthermore, smartphones enable precise measurement of tapping speed and duration, as well as facilitating data collection and analysis through digital recording and storage of test results. In summary, the use of touchscreens from smartphones provides a promising and convenient approach to administering the FTT, with potential implications for improving assessment and monitoring of neurological conditions.

Typically, the FTT quantifies performance by measuring the total number of taps and temporal variables such as frequency of taps, interval between taps, and duration of taps [2]. However, the emergence of smartphone touchscreen technology has opened up the possibility of recording the position of the screen where finger taps were performed and extracting spatial features of the task, such as the distance between tap coordinates and total distance of finger movements. Lee et al. [4] pioneered the evaluation of spatial parameters obtained from a smartphone-based FTT to assess bradykinesia in patients with Parkinson's disease compared

to healthy individuals. Subsequent studies using smartphone-based FTT have also applied the test in clinical conditions, mostly in patients with Parkinson's disease, comparing global, temporal, and spatial variables between controls and patients [9–16]. By incorporating spatial parameters into FTT assessment, smartphone technology provides a promising avenue for more comprehensive and accurate evaluation of motor function in clinical settings.

Given the advantages that smartphones offer as a tool for performing FTT, it is crucial to examine potential factors that may interfere with motor performance during the test. Sex and handedness, i.e., preference or ability to use one hand rather than the other across a range of common activities, are two such factors that have been shown to affect performance [17,18]. By assessing the influence of sex and handedness on finger tapping, researchers can determine whether adjustments are necessary to ensure the accuracy and validity of test results. This approach can help to mitigate bias and ensure that the FTT is applicable to individuals of all sexes and handedness. Ultimately, such evaluations can enhance the reliability and clinical utility of FTT for assessing motor function.

To date, no study has examined how participant characteristics such as sex and handedness may influence performance on smartphone-based FTT. In the current study, we sought to investigate the influence of sex and handedness on global, temporal, and spatial parameters obtained from smartphone-based FTT. By shedding light on these issues, our findings could inform the development of more accurate and reliable assessments of motor function in clinical and research settings.

Methods

Ethical considerations

The present study was approved by the Research and Ethics Committee of the Federal University of Pará (report # 6.036.494). All participants were informed about the experimental procedures and signed an informed consent form to participate in the study. All procedures are in accordance with the Declaration of Helsinki complying with all relevant ethical regulations.

Participants

Eighty right-handed participants (40 males and 40 females) comprised the sample of the present study, ranging between 18 and 50 years (males: 31.7 ± 8.04 years; females: 34.63 ± 9.37 years). The participants in this study were recruited through convenience sampling from a university population. The handedness of the participants was evaluated using the short version of the self-report Edinburgh handedness inventory [19]. Only right-handed participants were included, because there are differences in the cortical organization and motor performance between right-handed and left-handed people [20,21]. All participants had no history of degenerative diseases or use of drugs that could compromise movements.

Protocols of a smartphone-based finger-tapping test

An Android OS application, *Momentum Touch app*, was programmed using Android Studio and installed on a Samsung Galaxy S10 Plus smartphone. The smartphone had a 6.4-inch Dynamic AMOLED, QHD+ Display (3040 x 1440 Pixels), HDR10 19:9 Aspect Ratio, Gorilla Glass 6, 536 pixels per inch, 120 Hz resolution to touch capture.

For the test, the smartphone was placed on a table in landscape orientation related to the participant, with the top of the smartphone facing left. Participants performed the test while sitting in a chair with the foot touching the ground, and a chair height that allowed the hand to rest on the table with the elbow in 90° flexion, pronated forearm and the wrist at 0° flexion.

Prior to the experiments, all participants underwent a training test and received instructions by the same experimenter to ensure they were familiar with the procedures and tasks. This step was taken to minimize any potential confusion or misunderstandings during the actual experiment and to ensure that all participants had a consistent level of understanding and preparation. All participants carried out three modified protocols of FTT based on smartphones:

Protocol I: it was designed to evaluate the performance of the participant targeting a single-centered area of the smartphone. Protocol I is the closer condition to the classical FTT, in which the participant was asked to tap repeatedly on the same target during the test. For Protocol I, the participant's task was to tap the index finger in the center area as fast as possible. Taps outside the central target were considered errors in the task.

Protocol II: it was designed to evaluate the performance of the participant in a task of alternating taps on both sides of the smartphone without a target on the screen. For Protocol II, the participant's task was to tap alternately as fast as possible on both sides of the central division (region 1 on the left and region 2 on the right). One consecutive tap on the same side of a previous tap was considered an error in the task.

Protocol III: it was designed to evaluate the performance of the participant in a task of alternating taps in targets centered on both sides of the smartphone. For protocol III, the participant's task was to tap alternately as fast as possible in two central areas on both sides of the central division (region 1 on the left and region 2 on the right). One consecutive tap on the same side of a previous tap or a tap out of the central areas was considered an error in the task.

[Fig 1](#) shows the spatial properties of the visual representation of the smartphone screen for each FTT protocol.

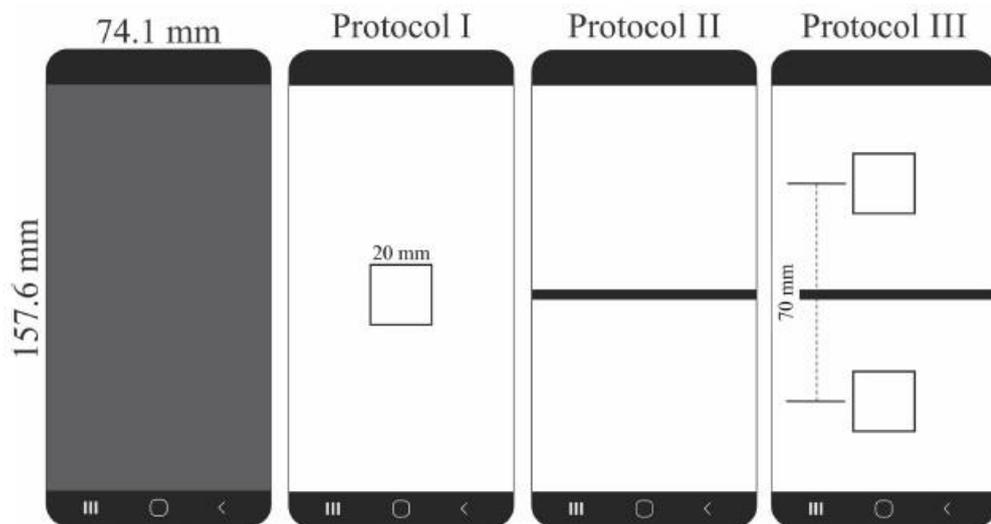


Fig 1. Smartphone dimensions of the model used in the present study and design of the three protocols proposed. Protocol I had a centered target (20 mm), Protocol II had a midline separating two equal areas without a restricted target, and Protocol III had a midline separating two equal sides with centered targets on each side 70 mm apart.

<https://doi.org/10.1371/journal.pdig.0000304.g001>

The test duration for each protocol was 30 seconds, with 1 minute interval between trials. The hand and the protocol to be tested were randomly chosen. Total duration of all experiments was 9.5 minutes. Our choice for an abbreviated version of FTT is to reduce the total testing duration similarly other researchers have tried [3,22].

Data analysis

The smartphone recorded the spatial coordinates of the screen where there was a tap, the moment of the tap, and a Boolean variable indicating whether the tap was done in the target area and exported a text file to be analyzed in routines in the MATLAB/OCTAVE or R environment. The following parameters were used to quantify the performance of the participant in each FTT protocol previously described:

i. Global parameters:

- Total number of taps.
- Number of errors.

ii. Temporal parameters:

- Median frequency of taps.
- Maximum frequency of taps.
- Minimum frequency of taps.

iii. Spatial parameters:

- Total displacement: the sum of all distances between the taps. The distance between the taps was calculated following Eq 1.

$$Distance = \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2} \quad (1)$$

Where x_i and y_i are the screen coordinates of the i th tap.

- Area of a confidence ellipse covering 95% of the balance sway (Eq 2) that was fitted using the MATLAB/OCTAVE code.

$$area = \pi \times D \times d \quad (2)$$

Where D is the major axes of the ellipse, and d is the minor axis of the ellipse.

- Major axes of the ellipse obtained from the ellipse model that best fit the body sway data.
- Minor axes of the ellipse obtained from the ellipse model that best fitted to the body sway data.
- Kernel density estimation to calculate the peak density and bandwidths for the X- and Y-axis performed using `kde2d()` in the R package MASS.

For the protocols II and III, the ellipse area, major and minor axis were estimated for the tap coordinates from both screen sides.

Statistics

To test the influence of sex and handedness on the FTT performance, we applied Linear Mixed Models to the parameters extracted from the FTT dataset. Subject ID was included as a random effect. Type-III ANOVA was used to estimate the F -statistic and p -value for each variable in the models. To verify model assumptions, we applied visual inspection followed by a

Shapiro-Wilk normality test and a Bartlett test of homogeneity of variance on models' residuals. For these models, we calculated the partial η^2 to compute the effect size. In the cases the model did not fit well, we applied a Friedman repeated measures test followed by a Dunn multiple comparison test. All analyzes were performed using R and the following packages: lme4, lmerTest, and performance. A confidence level of 0.05 was considered for all statistical tests.

Results

Results of protocol I

Fig 2A–2D shows the mean temporal series (\pm confidence interval) of the tapping frequency during the test execution for male and female participants using dominant and nondominant hands. The mean frequency was maximal at the beginning of the test and decreased along the test duration. Additionally, Fig 2E shows an example of the spatial distribution of the taps for a representative participant.

Table 1 shows the results of protocol I we proposed for FTT. Number of errors was not significantly influenced by sex and handedness and no significant interaction between the factors was observed (Friedman $Q_{(3,40)} = 1.2$, $p = 0.75$). Sex significantly influenced the total number of taps (ANOVA $F_{(1,78)} = 17.97$, $p < 0.001$), median frequency (ANOVA $F_{(1,78)} = 17.29$,

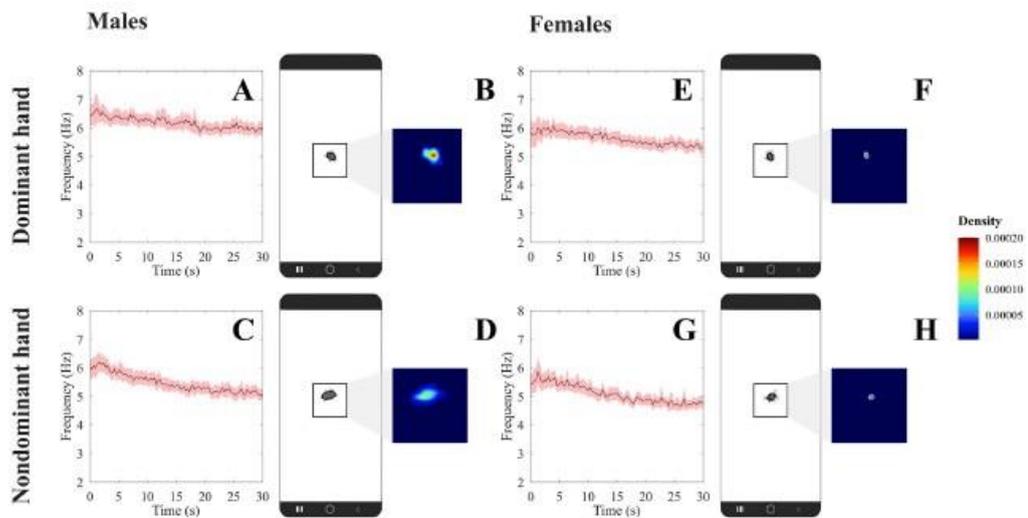


Fig 2. Performance in Protocol I of the Finger-Tapping Test proposed in the present study. (A) is the FTT frequency as a function of time for dominant hand from males; (B) Spatial kernel density estimation plot generated by the FTT executed from dominant hand from males; (C) is the FTT frequency as a function of time for nondominant hand from males; (D) Spatial kernel density estimation plot generated by the FTT executed from non-dominant hand from males; (E) is the FTT frequency as a function of time for dominant hand from females; (F) Spatial kernel density estimation plot generated by the FTT executed from dominant hand from females; (G) is the FTT frequency as a function of time for nondominant hand from females; (H) Spatial kernel density estimation plot generated by the FTT executed from nondominant hand from females. Black crosses represent valid taps, red crosses represent non-valid taps and red ellipsis are the 95% confidence ellipsis fitted to the data.

<https://doi.org/10.1371/journal.pdig.0000304.g002>

Table 1. Descriptive statistics [median (interquartile range)] of the global, temporal, and spatial parameters for Protocol I.

	Female		Male		Significant effect size
	DH	NDH	DH	NDH	
<i>Global parameters</i>					
Total number of taps	169 (22.5)	148.5 (21.5)	184 (17.5)	162.5 (23)	Sex*, handedness*
Number of errors	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	None
<i>Temporal Parameters</i>					
Median frequency	5.75 (0.73)	5.06 (0.60)	6.23 (0.49)	5.46 (0.77)	Sex*, handedness*, Interaction***
Maximum frequency	7.72 (1.83)	7.12 (4.18)	8.55 (2.43)	8.00 (1.64)	None
Minimum frequency	3.62 (1.05)	4.57 (0.79)	4.48 (1.33)	4.10 (0.86)	Handedness**, Interaction**
<i>Spatial parameters</i>					
Total displacement	7529.70 (1081.28)	6682.23 (846.56)	8171.38 (828.49)	7243.70 (1057.14)	Sex*, handedness*
Major axis	2.70 (1.28)	3.09 (1.07)	2.98 (1.08)	2.84 (0.90)	Interaction*
Minor axis	1.74 (0.65)	2.16 (0.70)	1.99 (0.61)	1.97 (0.79)	Interaction*
Area	14.03 (9.74)	22.25 (13.21)	19.24 (13.24)	18.55 (9.46)	Interaction*
Peak density	3.03 (2.17)	2.09 (1.78)	2.52 (2.3)	1.99 (1.46)	None
Bandwidth X	38.52 (15.90)	45.42 (20.60)	39.18 (19.65)	42.56 (18.16)	Handedness*
Bandwidth Y	33.38 (14.00)	40.26 (16.08)	35.82 (18.91)	41.96 (22.94)	Handedness*

DH: dominant hand; NDH: nondominant hand.

* $p < 0.001$ ** $0.001 \leq p < 0.01$ *** $0.01 \leq p < 0.05$ <https://doi.org/10.1371/journal.pdig.0000304.t001>

$p < 0.001$), total displacement (ANOVA $F_{(1,78)} = 16.42, p < 0.001$). Handedness significantly influenced the total number of taps (ANOVA $F_{(1,78)} = 119.63, p < 0.001$), median frequency (ANOVA $F_{(1,78)} = 149.55, p < 0.001$), minimum frequency (ANOVA $F_{(1,78)} = 7.47, p = 0.007$), total displacement (ANOVA $F_{(1,78)} = 116.31, p < 0.001$), bandwidth X (ANOVA $F_{(1,78)} = 18.22, p < 0.001$) and bandwidth Y (ANOVA $F_{(1,78)} = 30.16, p < 0.001$). The interaction between both factors was significant in the median frequency (ANOVA $F_{(1,78)} = 4.20, p = 0.04$), minimum frequency (ANOVA $F_{(1,78)} = 9.28, p = 0.003$), major axis (ANOVA $F_{(1,78)} = 88.28, p < 0.001$), minor axis (ANOVA $F_{(1,78)} = 96.67, p < 0.001$), and area of the ellipse (ANOVA $F_{(1,78)} = 141.09, p < 0.001$). In peak density variable was found significant differences (Friedman $Q_{(3,40)} = 18.8, p < 0.001$), in which for both sexes there was significant differences between dominant and non-dominant hands.

Global and temporal variables had more frequent significant effects and larger effect size on handedness, while spatial variables had larger and more frequent significant effect sizes of the interaction between the factors.

Results of the protocol II

[Fig 3A–3D](#) shows the mean temporal series (\pm confidence interval) of the tapping frequency during the test execution for male and female participants using dominant and nondominant hands. Here, the mean frequency also reached higher values in the first 5 seconds of the test and decayed throughout the duration of the test. [Fig 3E](#) shows an example of the spatial distribution of the taps on both sides of the screen for a representative participant.

[Table 2](#) shows the results of protocol II we proposed for FTT. Number of errors was not significantly influenced by sex and handedness and no significant interaction between the factors was observed (Friedman $Q_{(3,40)} = 3.06, p = 0.38$). Sex significantly influenced the total

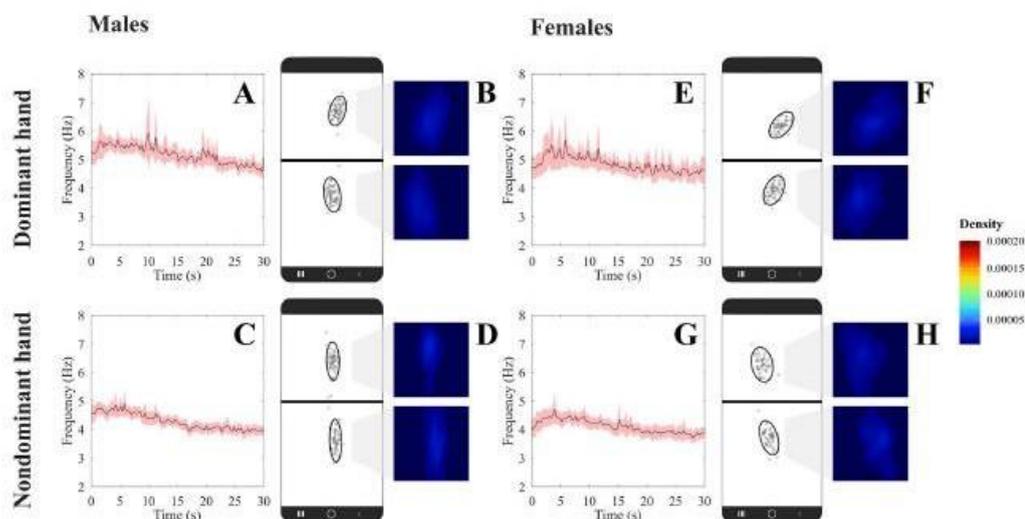


Fig 3. Performance in Protocol II of the Finger-Tapping Test proposed in the present study. (A) is the FTT frequency as a function of time for dominant hand from males; (B) Spatial kernel density estimation plot generated by the FTT executed from dominant hand from males; (C) is the FTT frequency as a function of time for non-dominant hand from males; (D) Spatial kernel density estimation plot generated by the FTT executed from non-dominant hand from males. (E) is the FTT frequency as a function of time for dominant hand from females; (F) Spatial kernel density estimation plot generated by the FTT executed from dominant hand from females; (G) is the FTT frequency as a function of time for non-dominant hand from females; (H) Spatial kernel density estimation plot generated by the FTT executed from non-dominant hand from females. Black crosses represent valid taps, red crosses represent non-valid taps and red ellipsis are the 95% confidence ellipsis fitted to the data.

<https://doi.org/10.1371/journal.pdig.0000304.g003>

displacement (ANOVA $F_{(1,78)} = 4.05, p = 0.04$), major axis 1 (ANOVA $F_{(1,78)} = 14.37, p < 0.001$) and major axis 2 (ANOVA $F_{(1,78)} = 7.12, p = 0.008$). Handedness significantly influenced the total number of taps (ANOVA $F_{(1,78)} = 202.30, p < 0.001$), median frequency (ANOVA $F_{(1,78)} = 393.71, p < 0.001$), maximum frequency (Friedman $Q_{(3,40)} = 37.97, p < 0.001$), minimum frequency (ANOVA $F_{(1,78)} = 6.85, p = 0.01$), total displacement (ANOVA $F_{(1,78)} = 214.67, p < 0.001$), minor axis 1 (ANOVA $F_{(1,78)} = 6.57, p = 0.01$), area of the ellipse 1 (ANOVA $F_{(1,78)} = 5.39, p = 0.02$), bandwidth Y 1, major axis 2 (ANOVA $F_{(1,78)} = 12.64, p < 0.001$), bandwidth Y 1 (ANOVA $F_{(1,78)} = 20.92, p < 0.001$) and Y 2 (ANOVA $F_{(1,78)} = 21.80, p < 0.001$). The interaction between both factors was significant in the median frequency (ANOVA $F_{(1,78)} = 5.52, p = 0.02$), minor axis 1 (ANOVA $F_{(1,78)} = 10.59, p = 0.002$) and minor axis 2 (ANOVA $F_{(1,78)} = 34.02, p < 0.001$), area of the ellipse 1 (ANOVA $F_{(1,78)} = 11.66, p = 0.001$), and bandwidth Y 2 (ANOVA $F_{(1,78)} = 4.47, p = 0.04$).

Handedness showed more significant and larger effect sizes on global, temporal, and spatial variables than the other factors.

Results of the protocol III

Fig 4A–4D shows the mean temporal series (\pm confidence interval) of the tapping frequency during the test execution for male and female participants using dominant and nondominant

Table 2. Descriptive statistics [median (interquartile range)] of the global, temporal, and spatial parameters for Protocol II.

	Female		Male		Significant effect size
	DH	NDH	DH	NDH	
<i>Global parameters</i>					
Total number of taps	138 (23.25)	118 (21.5)	153 (26)	128.5 (17.5)	Handedness*
Number of errors	0 (1.25)	0 (1)	1 (3.25)	0 (2)	None
<i>Temporal Parameters</i>					
Median frequency	4.80 (0.63)	4.1 (0.85)	5.22 (0.87)	4.42 (0.57)	Handedness*, Interaction***
Maximum frequency	6.16 (0.84)	5.80 (1.76)	7.31 (8.82)	5.71 (1.25)	None
Minimum frequency	2.42 (2.12)	2.32 (1.19)	2.76 (1.95)	2.37 (1.04)	Handedness***
<i>Spatial parameters</i>					
Total displacement	6289.24 (1271.43)	5350.08 (964.54)	6856.21 (794.73)	5806.12 (807.19)	Sex***, Handedness*
Major axis 1	9.13 (4.79)	9.62 (4.55)	9.82 (5.03)	10.88 (3.94)	Sex*
Minor axis 1	4.23 (1.88)	4.36 (1.84)	4.84 (3.46)	4.68 (1.7)	Handedness***, Interaction**
Area 1	118.48 (71.68)	118.48 (98.85)	159.92 (162.77)	174.25 (106.93)	Handedness***, Interaction**
Major axis 2	8.93 (3.78)	7.86 (5.04)	10.07 (4.46)	10.96 (5.23)	Sex**, Handedness*
Minor axis 2	4.06 (1.83)	4.35 (2.33)	4.69 (1.98)	4.41 (1.84)	Interaction*
Area 2	102.96 (102.83)	125.17 (83.21)	131.22 (89.97)	169.00 (109.95)	None
Peak density area 1	2.95 (1.51)	2.22 (0.90)	2.41 (1.69)	2.10 (1.3)	None
Bandwidth X Area 1	97.94 (38.35)	106.06 (38.89)	103.73 (41.87)	109.23 (48.45)	None
Bandwidth Y area 1	162.27 (53.23)	192.02 (44.45)	184.88 (61.71)	207.70 (82.41)	Handedness*, Interaction***
Peak density area 2	2.7 (2.1)	2.4 (1.7)	2.6 (2.2)	2.2 (1.5)	None
Bandwidth X area 2	96.59 (44.01)	109.45 (44.87)	106.14 (42.83)	107.31 (37.55)	None
Bandwidth Y area 2	163.03 (74.23)	184.21 (61.30)	161.28 (54.73)	206.13 (110.91)	None

DH: dominant hand; NDH: nondominant hand.

* $p < 0.001$ ** $0.001 \leq p < 0.01$ *** $0.01 \leq p < 0.05$ <https://doi.org/10.1371/journal.pdig.0000304.t002>

hands. The tapping frequency was kept constant during the entire test in this protocol. Fig 4E shows an example of the spatial distribution of the taps in both targets for a representative participant.

Table 3 shows the results of protocol III we proposed for FTT. Number of errors was not significantly influenced by sex and handedness and no significant interaction between the factors was observed (Friedman $Q_{(3,40)} = 6.81, p = 0.08$). Sex significantly influenced the minor axis 1 (ANOVA $F_{(1,78)} = 11.87, p < 0.001$) and minor axis 2 (ANOVA $F_{(1,78)} = 7.63, p = 0.007$), area of the ellipse 1 (ANOVA $F_{(1,78)} = 5.16, p < 0.001$) and 2 (ANOVA $F_{(1,78)} = 9.70, p = 0.002$). Handedness significantly influenced the total number of taps (ANOVA $F_{(1,78)} = 118.71, p < 0.001$), median frequency (ANOVA $F_{(1,78)} = 290.15, p = 0.03$), minimum frequency (ANOVA $F_{(1,78)} = 26.80, p < 0.001$), total displacement (ANOVA $F_{(1,78)} = 112.87, p < 0.001$), major axis 1 (ANOVA $F_{(1,78)} = 4.66, p = 0.03$), bandwidth X 1 (ANOVA $F_{(1,78)} = 25.73, p < 0.001$), bandwidth Y 1 (ANOVA $F_{(1,78)} = 17.56, p < 0.001$), minor axis 2 (ANOVA $F_{(1,78)} = 18.35, p < 0.001$), area of the ellipse 2 (ANOVA $F_{(1,78)} = 4.84, p = 0.03$), bandwidth X 2 (ANOVA $F_{(1,78)} = 17.27, p < 0.001$), and bandwidth Y 2 (ANOVA $F_{(1,78)} = 15.77, p < 0.001$). The interaction between both factors was significant in the median frequency (ANOVA $F_{(1,78)} = 7.61, p = 0.007$) and major axis 1 (ANOVA $F_{(1,78)} = 6.02, p = 0.02$).

Handedness showed more significant and larger effect sizes on global, temporal, and spatial variables than the other factors.

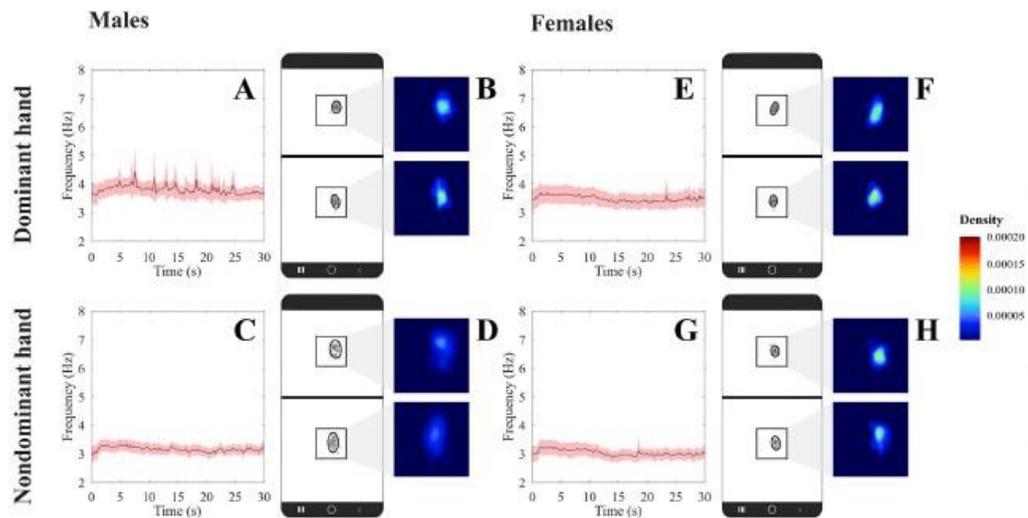


Fig 4. Performance in Protocol III of the Finger-Tapping Test proposed in the present study. (A) is the FTT frequency as a function of time for dominant hand from males; (B) Spatial kernel density estimation plot generated by the FTT executed from dominant hand from males; (C) is the FTT frequency as a function of time for non-dominant hand from males; (D) Spatial kernel density estimation plot generated by the FTT executed from non-dominant hand from males. (E) is the FTT frequency as a function of time for dominant hand from females; (F) Spatial kernel density estimation plot generated by the FTT executed from dominant hand from females; (G) is the FTT frequency as a function of time for non-dominant hand from females; (H) Spatial kernel density estimation plot generated by the FTT executed from non-dominant hand from females. Black crosses represent valid taps, red crosses represent non-valid taps and red ellipsis are the 95% confidence ellipsis fitted to the data.

<https://doi.org/10.1371/journal.pdig.0000304.g004>

Discussion

Handedness and sex are recognized factors that influence the performance in the FTT using different instruments [2]. The novelty of the present investigation is a detailed description of the influence of handedness and sex on global, temporal, and spatial parameters obtained from three spatial designs of smartphone-based FTT in adults.

The common findings in the three protocols were: (i) total number of taps, minimum frequency, total displacement, and bandwidth Y were improved by handedness; and (ii) median frequency was significantly influenced by an interaction between sex and handedness in which males using dominant hand had better performance in the FTT. For Protocol I, the more common result was the presence of a significant main effect of sex and handedness on the variables.

The use of smartphones as instruments to perform FTT is a revolutionary advance in the method because it enables the development of different designs of finger-tapping tests and enables the addition of new parameters to the classical analysis. In the present investigation, we designed three protocols for smartphone-based FTT. Protocol I is the most similar protocol compared to classical approaches because the participant had to tap in a specific place to be as fast and accurate as possible. The results we observed for temporal parameters are qualitatively like those previously observed using different technologies: males had better performance than females and dominant hands had better performance than nondominant hands.

Table 3. Descriptive statistics [median (interquartile range)] of the global, temporal and spatial parameters for Protocol III.

	Female		Male		Significant effect size
	DH	NDH	DH	NDH	
<i>Global parameters</i>					
Total number of taps	99 (43.50)	86 (31.25)	111 (29.25)	91.5 (19.75)	Handedness*
Number of errors	1 (3.25)	1.5 (8.75)	2 (8.25)	3 (9)	None
<i>Temporal parameters</i>					
Median frequency	3.60 (1.04)	3.10 (0.89)	3.79 (1.08)	3.25 (0.62)	Handedness*, Interaction**
Maximum frequency	6.25 (1.12)	4.98 (0.6)	4.99 (1.13)	4.83 (0.24)	None
Minimum frequency	2.20 (0.83)	2.06 (0.56)	2.30 (1.01) [†]	1.79 (0.42)	Handedness*
<i>Spatial parameters</i>					
Total displacement	4489.62 (1884.95)	4061.68 (1253.50)	4999.15 (1508.71)	4138.80 (876.3)	Handedness*
Major axis 1	4.92 (1.04)	4.96 (0.87)	4.74 (1.10)	4.91 (1.01)	Handedness***, Interaction***
Minor axis 1	3.64 (1.53)	3.29 (1.25)	2.63 (1.05)	2.96 (0.84)	Sex*
Area 1	57.65 (32.00)	50.33 (30.28)	40.40 (20.50)	46.08 (16.98)	Sex***
Major axis 2	5.1 (0.86)	4.92 (1.89)	4.76 (1.38)	5.8 (0.62)	None
Minor axis 2	3.51 (1.66)	2.78 (1.34)	2.57 (1.04)	3.34 (0.91)	Sex**, Handedness*
Area 2	56.41 (33.32)	41.58 (34.92)	36.98 (22.72)	59.58 (23.24)	Sex**, Handedness***
Peak density area 1	6.01 (4.00)	6.64 (4.90)	6.09 (6.18)	4.89 (2.98)	None
Bandwidth X area 1	61.92 (17.93)	69.90 (28.62)	62.80 (27.19)	71.18 (19.18)	Handedness*
Bandwidth Y area 1	114.28 (45.38)	123.76 (36.83)	123.42 (39.37)	141.46 (47.54)	Handedness*
Peak density area 2	6.55 (3.86)	7.81 (5.27)	6.64 (4.86)	5.38 (3.61)	None
Bandwidth X area 2	61.96 (24.54)	68.31 (28.23)	63.90 (20.25)	71.37 (23.30)	Handedness*
Bandwidth Y area 2	116.20 (40.70)	127.67 (43.34)	130.60 (46.71)	139.32 (43.97)	Handedness*

DH: dominant hand; NDH: non dominant hand.

[†]p < 0.001

**0.001 ≤ p < 0.01

***0.01 ≤ p < 0.05

<https://doi.org/10.1371/journal.pdig.0000304.t003>

The other two protocols we designed (protocols II and III) cannot be compared to the classical settings of FTT, because they are composed of tests that request alternated taps in two neighbor regions, and few investigations using smartphone-based FTT are comparable to these designs. The smartphone-based FTT can be grouped in tests that use one target [9] and two targets [9–16]. The tests that used two targets also differed from the task for tapping using one or two fingers for alternating movements, and only Lee et al. [4] have a more detailed description of the spatial dimensions of the test design.

All these studies using smartphone-based FTT evaluated the performance of patients with some diseases, especially Parkinson's disease, and did not emphasize the influence of handedness and sex on performance. The present investigation is a first approach to describe the basic features of the smartphone-based FTT in the adult population.

Dominant hands consistently are reported as having better performance than non-dominant hands in FTT [2]. Cortical correlates seem to be associated with the different performance considering hand dominance. Some findings indicate that left-handers are less lateralized than right handers [23,24]. The difference in the FTT performance between sexes was usually reported [25], but it is not clear why males and females differ in FTT performance.

The lack of left handers and aged persons are limitations of the present study and future study focusing on them might be interesting. Considering that use of touchscreen technology

is relatively new, more information can be extracted in future besides different designs to improve specific motor skills during finger tapping test.

Overall, the FTT is a useful tool for evaluating motor and cognitive function in a variety of diseases and conditions. Smartphone-based FTT has potential applications in the same diseases that were previously evaluated using other technologies such as Parkinson's disease, Alzheimer's disease, multiple sclerosis, traumatic brain injury, attention deficit hyperactivity disorder, and depression. Previous investigations had shown significant reliability of smartphone-based FTT [22] that encourage for more clinical applications, additional studies of validation comparing its performance with the gold-standard technologies such as video capture, and studies comparing the performances using different smartphone models (and touchscreen technologies).

Smartphone-based FTTs represent an opportunity to apply an important neuropsychological test in a wider range of the population, including the poorest people with less access to more sensitive medical instruments. Even considering that sex and handedness have partial influence on the smartphone-based FTT variables, our results reinforce the needs to create norms for males and females with additional consideration about the hand dominance, or create models to compensate the differences associated to these factors. More basic and clinical studies for FTT based on smartphones can help in assessing the variables that could optimize its diagnostic power.

App availability

The a trial version of the app is available at the Play Store: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.MomentumTouch>

Supporting information

S1 Data. Raw files of all participants including the moment of the tap, x and y coordinates and the indication of the area where the tapping occurred.
(ZIP)

Author Contributions

Conceptualization: Felipe André Costa Brito, Anselmo de Athayde Costa e Silva, Givago Silva Souza.

Data curation: Givago Silva Souza.

Formal analysis: Felipe André Costa Brito, Luis Carlos Pereira Monteiro, Enzo Gabriel Rocha Santos, Givago Silva Souza.

Funding acquisition: Givago Silva Souza.

Investigation: Felipe André Costa Brito, Ramon Costa de Lima, Bruno Lopes Santos-Lobato, Givago Silva Souza.

Methodology: Felipe André Costa Brito, Bruno Lopes Santos-Lobato, André Santos Cabral, Bianca Callegari, Anselmo de Athayde Costa e Silva, Givago Silva Souza.

Project administration: Bianca Callegari, Anselmo de Athayde Costa e Silva, Givago Silva Souza.

Software: Felipe André Costa Brito, Enzo Gabriel Rocha Santos.

Supervision: Anselmo de Athayde Costa e Silva, Givago Silva Souza.

Visualization: Luis Carlos Pereira Monteiro, Givago Silva Souza.

Writing – original draft: Felipe André Costa Brito, Givago Silva Souza.

Writing – review & editing: Luis Carlos Pereira Monteiro, Enzo Gabriel Rocha Santos, Ramon Costa de Lima, Bruno Lopes Santos-Lobato, André Santos Cabral, Bianca Callegari, Anselmo de Athayde Costa e Silva, Givago Silva Souza.

References

- Schmitt L. Finger-Tapping Test. In: Volkmar F.R. (eds) *Encyclopedia of Autism Spectrum Disorders*. Springer, New York, NY, 2013.
- Hubel KA, Reed B, Yund EW, Herron TJ, Woods DL. Computerized measures of finger tapping: effects of hand dominance, age, and sex. *Percept Mot Skills*. 2013; 116, 929–952. <https://doi.org/10.2466/25.29.PMS.116.3.929-952> PMID: 24175464
- Ashendorf L, Horwitz JE, Gavett BE. Abbreviating the Finger Tapping Test. *Arch Clin Neuropsychol*. 2015; 30(2):99–104. <https://doi.org/10.1093/arclin/acu091> PMID: 25564134
- Lee CY, Kang SJ, Hong SK, Ma HI, Lee U, Kim YJ. A Validation Study of a Smartphone-Based Finger Tapping Application for Quantitative Assessment of Bradykinesia in Parkinson's Disease. *PLoS One*. 2016; 11, e0158852. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158852> PMID: 27467066
- Roalf DR, Rupert P, Mechanic-Hamilton D, Brennan L, Duda JE, Weintraub D, et al. Quantitative assessment of finger tapping characteristics in mild cognitive impairment, Alzheimer's disease, and Parkinson's disease. *J Neurosci*. 2018; 265(6):1365–1375. <https://doi.org/10.1007/s00415-018-8841-8> PMID: 29619565
- Guo Z, Zeng W, Yu T, Xu Y, Xiao Y, Cao X, et al. Vision-Based Finger Tapping Test in Patients With Parkinson's Disease via Spatial-Temporal 3D Hand Pose Estimation. *IEEE J Biomed Health Inform*. 2022; 26(8):3848–3859. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2022.3162386> PMID: 35349459
- Téremetz M, Colle F, Hamdoun S, Maier MA, Lindberg PG. A novel method for the quantification of key components of manual dexterity after stroke. *J Neuroeng Rehabil*. 2015; 12:64. <https://doi.org/10.1186/s12984-015-0054-0> PMID: 26233571
- Akram N, Li H, Ben-Joseph A, Budu C, Gallagher DA, Bestwick JP, et al. Developing and assessing a new web-based tapping test for measuring distal movement in Parkinson's disease: a Distal Finger Tapping test. *Sci Rep*. 2022; 12, 386. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03563-7> PMID: 35013372
- Bermeo A, Bravo M, Huerta M, Bermeo J, Punin B, Barzallo B. Statistical characterization of the finger tapping test using an android mobile app, 2017 IEEE Second Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM), 2017, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ETCM.2017.8247459>
- Arora S, Venkataraman V, Zhan A, Donohue S, Biglan KM, Dorsey ER, et al. Detecting and monitoring the symptoms of Parkinson's disease using smartphones: A pilot study. *Parkinsonism Relat Disord*. 2015; 21, 650–653. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2015.02.026> PMID: 25819808
- Mitsi G, Mendoza EU, Wissel BD, Barbopoulou E, Dwivedi AK, Tsoulos I, et al. Biometric Digital Health Technology for Measuring Motor Function in Parkinson's Disease: Results from a Feasibility and Patient Satisfaction Study. *Front Neurol*. 2017; 8, 273. <https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00273> PMID: 28659858
- Wissel BD, Mitsi G, Dwivedi AK, Papapetropoulos S, Larkin S, López Castellanos JR, et al. Tablet-Based Application for Objective Measurement of Motor Fluctuations in Parkinson Disease. *Digit Biomark*. 2018; 1, 126–135. <https://doi.org/10.1159/000485468> PMID: 32095754
- Zhang L, Lei L, Zhao Y, Wang R, Zhu Y, Yu Z, et al. Finger Tapping Outperforms the Traditional Scale in Patients With Peripheral Nerve Damage. *Front Physiol*. 2018; 9, 1361. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01361> PMID: 30327614
- Lipsmeier F, Taylor KI, Kilchenmann T, Wolf D, Scotland A, Schjodt-Eriksen J, et al. Evaluation of smartphone-based testing to generate exploratory outcome measures in a phase 1 Parkinson's disease clinical trial. *Mov Disord*. 2018; 33, 1287–1297. <https://doi.org/10.1002/mds.27376> PMID: 29701258
- Prince J, Vos M. A Deep Learning Framework for the Remote Detection of Parkinson's Disease Using Smart-Phone Sensor Data. 2018 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. 2018; 3144–3147. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2018.8512972> PMID: 30441061
- Alberts JL, Koop MM, McGinley MP, Penko AL, Fernandez HH, Shook S, et al. Use of a Smartphone to Gather Parkinson's Disease Neurological Vital Signs during the COVID-19 Pandemic. *Parkinsons Dis*. 2021; 55:34282. <https://doi.org/10.1155/2021/5534282> PMID: 33868630

17. Westmoreland P. A philosophical approach to the concept of handedness: The phenomenology of lived experience in left- and right-handers. *Laterality*. 2017; 22(2):233–255. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2016.1164181> PMID: 27026143
18. Prigatano GP, Goncalves C, de Oliveira SB, Denucci SM, Pereira RM, Braga LW. Kinematic recordings while performing a modified version of the Halstead Finger Tapping Test: Age, sex, and education effects. *J Clin Exp Neuropsychol*. 2020; 42(1), 42–54. <https://doi.org/10.1080/13803395.2019.1665170> PMID: 31516073
19. Veale JF. Edinburgh Handedness Inventory—Short Form: a revised version based on confirmatory factor analysis. *Laterality*. 2014; 19(2), 164–177. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2013.783045> PMID: 23659650
20. Hiraoka K, Igawa K, Kashiwagi M, Nakahara C, Oshima Y, Takakura Y. The laterality of stop and go processes of the motor response in left-handed and right-handed individuals. *Laterality*. 2018; 23(1):51–66. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2017.1311906> PMID: 28378624
21. Morita T, Asada M, Naito E. Right-hemispheric Dominance in Self-body Recognition is Altered in Left-handed Individuals. *Neuroscience*. 2020; 425:68–89. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2019.10.056> PMID: 31809726
22. Makai-Böloni S, Thijssen E, van Brummelen EMJ, Groeneveld GJ, Doll RJ. Touchscreen-based finger tapping: Repeatability and configuration effects on tapping performance. *PloS one*, 16(12), e0260783. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260783> PMID: 34874977
23. Karlsson EM, Johnstone LT, Carey DP. The depth and breadth of multiple perceptual asymmetries in right handers and non-right handers. *Laterality*. 2019; 24, 707–739. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2019.1652308> PMID: 31399020
24. Johnstone LT, Karlsson EM, Carey DP. Left-handers are less lateralized than right-handers for both left and right hemispheric functions. *Cereb Cortex*. 2021; 31, 3780–3787. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhab048> PMID: 33884412
25. Teismann H, Schubert R, Reilmann R, Berger K. Effects of age and sex on outcomes of the Q-Motor speeded finger tapping and grasping and lifting tests—findings from the population-based BiDirect Study. *Front Neuro*. 2022; 13:965031. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.965031> PMID: 36247774