




Uso de aplicativo para análise de movimento: estudo piloto

App for motion analysis: pilot study

 Fábio Marcon Alfieri¹, José Augusto Fernandes Lopes¹, Dhiogo José Corrêa de Sá², Carla de Sousa Lago Moussalli Jorge²,
 Vinícius Delgado Ramos¹,  Linamara Rizzo Battistella³

RESUMO

Medidas alternativas e de baixo custo podem ser importantes para análise do movimento humano. **Objetivo:** Verificar a concordância de análise de movimento humano entre aplicativo de monitoramento por meio de inteligência artificial com análise tridimensional de movimento. **Método:** Estudo transversal observacional no qual voluntário sadio realizou movimentos de: flexão dos braços, flexão de cotovelos, flexão de tronco, inclinação de tronco e sentar e levantar. As imagens foram captadas por meio de sistema de análise tridimensional do movimento por câmeras infravermelhas e pelo aplicativo da *Linkfit* por meio de dois dispositivos móveis (smartphones). Foram comparados os ângulos estimados pelo aplicativo da *Linkfit* com os ângulos correspondentes medidos pelo sistema de análise tridimensional do movimento. Para comparar os ângulos da *LinkFit* com os ângulos mensurados pelo laboratório tridimensional de movimento, o teste de causalidade de Granger foi usado para cada série paralela dos dados. **Resultados:** A utilização de técnicas de visão computacional e deep learning para detecção de movimento utilizando câmeras de celular mostrou um grau de concordância de 84% em relação à medidas geradas por análise tridimensional de movimento realizadas em laboratório. **Conclusão:** A utilização de técnicas de visão computacional e deep learning é promissora para a realização de estudos que envolvem a detecção do movimento do corpo humano, quando comparadas com medidas de padrão-ouro de análise de movimento, podendo ser portanto, uma alternativa. Estudos futuros devem ser realizados utilizando maior número de voluntários e movimentos, com o intuito de consolidar os resultados obtidos nesse estudo.

Palavras-chaves: Movimento, Smartphone, Telemedicina

ABSTRACT

Alternative and low-cost measures may be important for analyzing human movement. **Objective:** The objective of this study was to verify the agreement of human movement analysis of a monitoring app that uses artificial intelligence compared to three-dimensional movement analysis. **Methods:** Observational cross-sectional case report study in which a healthy volunteer performed arm flexion, elbow flexion, trunk flexion, lateral trunk bending, and sitting and standing. Images of the volunteer were simultaneously captured by a three-dimensional movement analysis system based on infrared cameras and the *Linkfit* app of two mobile devices (smartphones). The body angles estimated by the *Linkfit* app were compared with the corresponding angles measured by the three-dimensional movement analysis system. The Granger causality test was used to compare the pairs of angles for each parallel data series. **Results:** The use of smartphone cameras and deep learning techniques for motion detection had an 84% degree of agreement compared to measurements generated by the three-dimensional movement analysis performed in the laboratory. **Conclusion:** The use of smartphone cameras and deep learning techniques is promising for conducting studies for body movement detection compared to the gold standard measures of movement analysis. This technology may become an alternative for movement analysis. Future studies should consider a more significant number of volunteers and model movements to strengthen the results obtained in this study.

Keywords: Movement, Smartphone, Telemedicine

¹ Instituto de Medicina Física e Reabilitação, Hospital das Clínicas, Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo

² LinkFit Ltda

³ Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo

Correspondência

Fábio Marcon Alfieri

E-mail: fabioalfieri@usp.br

Submetido: 10 Dezembro 2021

Aceito: 5 Fevereiro 2022

Como citar

Alfieri FM, Lopes JAF, Sá DJC, Jorge CSLM, Ramos VD, Battistella LR. Uso de aplicativo para análise de movimento: estudo piloto. *Acta Fisiatr.* 2022;29(1):1-5.



10.11606/issn.2317-0190.v29i1a194264



©2022 by Acta Fisiátrica

Este trabalho está licenciado com uma licença Creative Commons - Atribuição 4.0 Internacional

INTRODUÇÃO

O movimento humano permite diversas funções como deambulação, realização de atividades diárias como funções de higiene pessoal e até mesmo de alto rendimento em uma modalidade esportiva, é algo que apresenta complexidade devido às várias interações sensório-motoras que exige.^{1,2}

O desenvolvimento de métodos de avaliação do movimento que buscam melhorar a precisão e confiabilidade, resultou em ferramentas investigativas úteis em várias áreas de pesquisa e na prática clínica, em reabilitação, ergonomia, esportes dentre outras.³

O princípio da análise do movimento do corpo humano através das imagens consiste na captura de uma sequência destas, por meio de fotos (fotogrametria), com o auxílio de uma ou mais câmeras, obtendo dados de posição e orientação dos objetos de interesse através das medidas realizadas nessas imagens. A análise tridimensional de movimento pode ser inviável no ambiente clínico por requerer um espaço físico grande, equipamento complexo, experiência dos profissionais para coleta e análise dos dados, além do custo elevado.⁴

Recentemente, dispositivos novos como uso de aplicativos em smartphones também estão propondo a avaliação do movimento humano.⁴ Uma revisão sistemática e meta-análise sobre a validade e confiabilidade de smartphones na avaliação da cinemática espinhal concluiu que atualmente é possível implementar o uso dos smartphones para avaliação da amplitude de movimento de flexão cervical, extensão, flexão lateral e flexão lombar. Ainda, que os smartphones podem ser viáveis para avaliação da região torácica e para extensão lombar. Contudo relatam que mais estudos são necessários para o uso seguro desses instrumentos enquanto métodos de avaliação.⁴

Outro estudo sobre o tema, afirma que dispositivos (smartphones) e aplicativos são ferramentas importantes para cuidados em saúde, contudo eles são usados sem compreensão completa de seus riscos e benefícios. Ainda, que avaliação rigorosa, validação e desenvolvimento de padrões de melhores práticas para os aplicativos de saúde são necessários para garantir nível de qualidade e segurança quando estas ferramentas são usadas.⁵

Recentemente a *LinkFit* desenvolveu um aplicativo que possui uma série de atividades físicas disponíveis, onde durante a execução, um algoritmo de inteligência artificial e visão computacional monitora e corrige os movimentos em tempo real.

O algoritmo Openpose⁶ é utilizado para obter as posições de pontos anatômicos durante a realização de exercícios em imagens obtidas pela câmera de um smartphone. As trajetórias desses pontos anatômicos são analisadas através de um algoritmo especialmente desenvolvido, permitindo a orientação e correção dos exercícios durante sua realização, e a análise posterior pelo profissional que os prescreveu. É importante garantir a confiabilidade das posições de pontos anatômicos obtidas por este método, já que elas são a base para a correta avaliação dos exercícios realizados.

OBJETIVO

Verificar a concordância da análise de movimento humano

realizada pelo aplicativo de monitoramento por meio de inteligência artificial e a análise tridimensional de movimento realizada em laboratório.

MÉTODO

Este estudo piloto com um indivíduo foi realizado seguindo os princípios da Declaração de Helsinki. O participante do sexo masculino que pertencia ao staff do centro de reabilitação autorizou sua participação na avaliação que consistiu na captura das imagens do movimento. O indivíduo não apresentava queixa de dores musculoesqueléticas nem alterações neurológicas que pudessem alterar a realização dos movimentos solicitados.

Para capturar o movimento, foi solicitado ao voluntário que fizesse os movimentos de: flexão dos braços - levantar o braço estendido, rente ao corpo, iniciando o movimento com o braço estendido para baixo, e terminando com o braço estendido para cima; flexão de cotovelos - com o cotovelo fixo ao corpo, flexionar o antebraço; flexão de tronco - encostar as pontas dos dedos às pontas dos pés, sem flexionar os joelhos; inclinação de tronco - com os braços rentes ao corpo e para baixo, inclinar o tronco para a direita e depois para a esquerda; sentar e levantar - com auxílio de uma cadeira, sentar e levantar sem fletir a coluna.

Foram realizadas e registradas 5 repetições de cada movimento. O quadro 1 mostra os ângulos analisados para cada movimento realizado pelo voluntário.

Quadro 1. Movimentos e ângulos analisados para cada movimento executado

Nome do exercício	Membro do corpo alvo	Ângulo(s) alvo
Flexão de braço	Braço e antebraço	L_ELBOW
Flexão de cotovelo	Braço e antebraço	FRONT_ELBOW
Flexão de tronco	Tronco	BACK_HIP, FRONT_HIP
Inclinação de tronco	Tronco	SHOULDER, BACK_HIP, FRONT_HIP
Sentar e levantar	Coluna e membros inferiores	BACK_HIP, FRONT_HIP, BACK_KNEE, FRONT_KNEE

Para captura dos movimentos do voluntário foi utilizado como padrão ouro o sistema de análise tridimensional do movimento instalado no Instituto de Medicina Física e Reabilitação/Unidade Vila Mariana do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (IMREA/HCFMUSP). O sistema é composto de oito câmeras de infravermelho modelo Oqus 300 e 2 câmeras híbridas (infravermelho e vídeo colorido) modelo Oqus® 210c da Qualisys AB (Suécia), conectadas a um computador.

Nele, o software Qualisys Track Manager® versão 2.11 é responsável por fazer a reconstrução das trajetórias tridimensionais de marcadores aplicados ao corpo do voluntário. Foram utilizados 21 marcadores esféricos reflexivos aplicados a pontos anatômicos seguindo o protocolo de Helen Hayes modificado:⁷ espinhas ilíacas ântero-superiores, sacro, faces laterais das coxas (terço distal), côndilos laterais dos fêmures, faces laterais das pernas (terço proximal), maléolos laterais, calcâneos e cabeças dos segundos metatarsianos,

acrômios, epicôndilos laterais dos úmeros, pontos médios entre os processos estilóides do rádio e da ulna.

As coordenadas tridimensionais desses marcadores foram registradas a uma frequência de 100Hz. Posteriormente, foi utilizado o software Orthotrak® versão 6.2, da Motion Analysis Corporation (EUA), para calcular, a partir das trajetórias tridimensionais dos pontos anatômicos, os ângulos articulares que seriam comparados aos obtidos através do aplicativo.

Para capturar os movimentos para posterior análise pelo aplicativo da *Linkfit*, dois dispositivos móveis, um da marca Xiaomi® Mi9 SE utilizando câmera de 48MP e um Motorola® G5S Plus utilizando câmera de 13MP, foram posicionados respectivamente em frente e ao lado do voluntário, capturando em uma taxa de 30 frames por segundo. Utilizando o algoritmo Openpose,⁶ que utiliza técnicas de deep learning para a inferência de pose, foi possível capturar a posição 2D de 18 pontos anatômicos - olhos, orelhas, nariz, pescoço, ombros, cotovelos, punhos, quadris, joelhos e pés. A partir destes pontos, foram calculados 13 ângulos, (Quadro 2).

Quadro 2. Ângulos extraídos, descrição e câmera usada para extraí-lo

Nome dado ao ângulo	Descrição do ângulo	Posicionamento da câmera
FRONT_HIP	Ângulo entre vista anterior, de ombro, quadril e joelho	lateral
BACK_HIP	Ângulo entre vista posterior de ombro, quadril e joelho	lateral
R_HIP	Ângulo entre vista lateral direita do ombro, quadril e joelho	frontal
L_HIP	Ângulo entre vista lateral esquerda do ombro, quadril e joelho	frontal
FRONT_KNEE	Ângulo entre vista frontal do quadril, joelho e tornozelo	lateral
BACK_KNEE	Ângulo entre vista posterior do quadril, joelho e tornozelo	lateral
R_KNEE	Ângulo entre vista lateral direita do quadril, joelho e tornozelo	frontal
L_KNEE	Ângulo entre vista lateral do quadril, joelho e tornozelo	frontal
FRONTAL_ELBOW	Ângulo entre vista frontal do ombro, cotovelo e punho	lateral
BACK_ELBOW	Ângulo entre vista posterior do ombro, cotovelo e punho	lateral
R_ELBOW	Ângulo entre vista lateral direita do ombro, cotovelo e punho	frontal
L_ELBOW	Ângulo entre vista lateral esquerda do ombro, cotovelo e punho	frontal
SHOULDER	Ângulo entre vista lateral direita entre ombro, pescoço e eixo x	frontal

Para possibilitar a comparação, foi feito um pareamento entre os ângulos gerados pelo aplicativo da *Linkfit* e os ângulos correspondentes medidos através do laboratório de análise tridimensional do movimento (Quadro 3).

Preparação de dados

Diversas técnicas foram aplicadas durante a comparação dos dados extraídos pela *Linkfit* e os dados laboratoriais. Foi necessário lidar com diferentes vieses, referências espaciais e frequência de aquisição dos dados. O fluxo utilizado nessa etapa está representada na Figura 1.

As gravações feitas pelo laboratório e a *Linkfit* foram

Quadro 3. Correspondência entre os ângulos gerados pelo aplicativo da *Linkfit* e os ângulos medidos pelo laboratório de movimento

Nome dado ao ângulo	Nome dos ângulos do laboratório
FRONT_HIP	L_HIP Flex ANG
BACK_HIP	R_HIP Flex ANG
R_HIP	R_HIP Abd ANG
L_HIP	L_HIP Abd ANG
FRONT_KNEE	L_KNEE Flex ANG
BACK_KNEE	R_KNEE Flex ANG
R_KNEE	R_KNEE Abd ANG
L_KNEE	L_KNEE Abd ANG
FRONTAL_ELBOW	L_Elbow_Ang
BACK_ELBOW	R_Elbow_Ang
R_ELBOW	R_Elbow_Ang
L_ELBOW	L_Elbow_Ang
SHOULDER	Trunk_Lat_Tilt

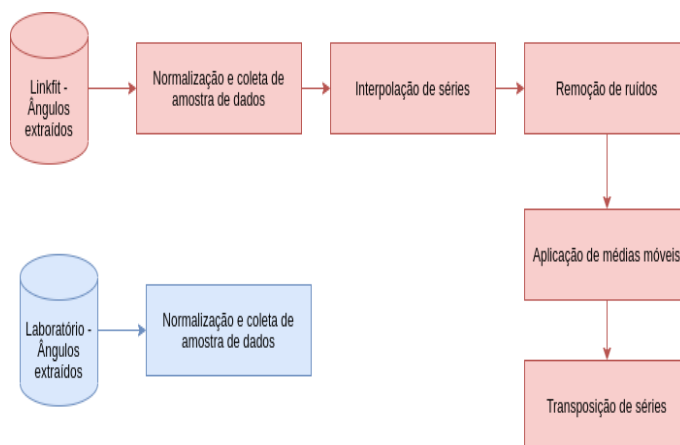


Figura 1. Fluxo de coleta e preparação de dados para análise de imagens

extraídas utilizando diferentes frequências (Hz), portanto, para comparação direta, os dados do laboratório foram re-amostrados.

Os valores das duas medidas foram normalizados em relação a amplitude, e a interpolação de séries foi utilizada para lidar com valores faltantes.

Para reduzir o ruído das séries, foi utilizado o algoritmo *lfilter*, implementado pela biblioteca *scipy* <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.signal.lfilter.html> utilizando o filtro FER (Finite Impulse Response), com coeficiente no numerador igual a $[1.0/n]*n$, onde $n=31$, e o vetor do coeficiente do denominador com valor 1. Também utilizando médias móveis para descartar valores atípicos (outliers). Para corrigir e combinar o início das gravações do laboratório e da *Linkfit*, nós transpusemos a série temporal dos dados da *Linkfit*, combinando os dois máximos globais de cada série.

Análise de Dados

Para comparar as medidas de ângulo extraídas pela *Linkfit* em relação às medidas de ângulo do laboratório, foi utilizado o teste de Causalidade de Granger para cada série combinada.

O teste de Granger é muito utilizado em casos de previsão de séries temporais. Nesse estudo, nossa hipótese é: Sabendo que os dois diferentes métodos estão medindo o mesmo evento, com os mesmos objetivos, no caso ótimo eles deveriam ser o mesmo, e por consequência, a causalidade deveria ser máxima. Para cada série e seus ângulos, foi implementado um teste de Granger, aceitando a hipótese nula (onde uma série não g-cause a outra), com p valor de 0.005. Por fim, calculamos o número de vezes onde a hipótese numa foi negada – onde uma série g-cause a outra – dividida pelo total de séries.

RESULTADOS

Os resultados obtidos neste estudo mostram uma boa relação causal entre os ângulos captados pelo padrão ouro que foi a análise tridimensional do movimento por meio do laboratório e o software proposto pela *Linkfit*.

A Tabela 1 mostra, para cada ângulo estudado, a porcentagem de vezes em que a causalidade de Granger se mostrou positiva - hipótese nula descartada.

Tabela 1. Proporção de vezes onde causalidade ocorreu por ângulo analisado

Ângulo	% of g-causes
FRONT_HIP	75%
BACK_HIP	83%
FRONT_KNEE	80%
BACK_KNEE	100%
L_ELLOW	75%
FRONT_ELLOW	80%
SHOULDER	100%
Mean	84%

Como apresentado anteriormente, cada exercício executado foi utilizado com o intuito de medir ângulos específicos do corpo. Levando em consideração esse fator, para cada exercício, temos, braço e antebraço: compostos pelos exercícios: flexão de braço e flexão de cotovelo, no qual L_ELLOW - 75% e FRONT_ELLOW de 80% com média de 77,5% de causalidade. Para o tronco, temos os exercícios compostos: flexão de tronco e inclinação de tronco com FRONT_HIP de 75%, BACK_HIP de 83% e SHOULDER com 100%, gerando média de 86% de causalidade.

Para coluna e membros inferiores, temos os exercícios compostos de levantar e sentar com FRONT_HIP de 75%, BACK_HIP de 83%, FRONT_KNEE de 80% e BACK_KNEE de 100% gerando média de causalidade de 84,5%.

DISCUSSÃO

O movimento é um aspecto essencial da vida do ser humano. É de extrema importância para diversas atividades diárias como locomoção, alimentação, trabalho e também no desenvolvimento de atividades físicas e esportivas. Sabe-se

que o indivíduo realiza o movimento a fim de obedecer às demandas da tarefa que está sendo executada dentro de um ambiente específico.¹

Em situações de prática esportiva ou de algum tipo de atividade física é importante que seja realizado o movimento correto a fim de que a atividade seja efetiva e promova ganhos, sem efeitos adversos como lesões causadas por postura errada durante a execução de determinados movimentos. Por isso, neste estudo, a comparação entre a análise do movimento feita por laboratório de movimento e as medidas feitas por aplicativo torna-se muito importante. Embora seja um relato de caso, os resultados mostram um caminho promissor no uso de câmeras de smartphone aliadas ao uso de modelos de machine learning e deep learning para a análise de movimento de maneira mais acessível.

Apesar das limitações do algoritmo, a utilização de câmeras de celular deve trazer grande acessibilidade a soluções de análise de movimento, e por consequência, auxiliar na identificação de dificuldades de execução de movimentos e até mesmo na avaliação de doenças nas quais o movimento é comprometido.

A concordância observada entre a análise de movimento realizada pelo padrão ouro (laboratório tridimensional do movimento) e o aplicativo da *Linkfit* é relevante, pois é possível inferir que os ajustes sugeridos pela inteligência artificial do aplicativo durante a execução dos movimentos estão baseados em medidas confiáveis. Desta forma, pode-se proporcionar segurança e eficiência ao cliente na execução dos movimentos.

Os resultados deste estudo vão ao encontro das conclusões de uma revisão sobre o uso de smartphones para análise de movimentos que concluiu que estes dispositivos têm demonstrado uma importante capacidade como monitoramento não invasivo de movimento. Ainda, os estudos têm mostrado que quando os componentes de detecção são usados, o dispositivo pode estimar uma variedade de movimentos com potenciais aplicações para a área da saúde.⁸

Estes resultados também são compatíveis com os obtidos em estudo que comparou alguns algoritmos de análise de movimento por câmeras de vídeo, incluindo o Openpose, ao método de referência com marcadores em laboratório de análise tridimensional do movimento.⁹ Naquele estudo, foram obtidas diferenças sistemáticas nas posições calculadas de centros articulares que variaram de 1mm a 50mm, dependendo da articulação e do movimento estudado. A conclusão foi que apesar de existirem limitações para a confiabilidade dos dados obtidos, os métodos de análise por imagens sem marcadores são promissores para aplicações em ambientes fora do laboratório, desde que essas limitações sejam levadas em conta.

Algumas limitações do presente estudo são: a utilização de apenas um indivíduo e de um conjunto restrito de movimentos simples e a necessidade de ajustes para permitir a comparação entre medidas feitas por instrumentos diferentes. Entretanto, essa metodologia permitiu verificar a razoável compatibilidade entre as medidas obtidas, e conseqüentemente o potencial de utilização de uma técnica de mais fácil acesso, quando comparada ao método tradicional utilizando laboratório de análise tridimensional do movimento.

Assim, futuros estudos visando analisar a confiabilidade

deste método de avaliação por meio de aplicativos durante a realização de movimentos mais complexos ou até mesmo verificando a efetividade de programas de exercícios guiados por este tipo de sistema, são importantes e desejáveis.

CONCLUSÃO

Este estudo concluiu que os ângulos mensurados em imagens capturadas por câmeras de smartphones e processadas como descritas no método podem ser efetivamente comparadas com medidas em laboratório de análise tridimensional de movimento humano em 84% das vezes.

REFERÊNCIAS

1. Shummay-Cook A, Woollacott MH. Controle motor. 2 ed. Barueri: Manole; 2003.
2. Watkins J. Structure and function of the musculoskeletal system. Champaign: Human Kinetics; 1999.
3. Lu TW, Chang CF. Biomechanics of human movement and its clinical applications. Kaohsiung J Med Sci. 2012;28(2 Suppl):S13-25. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.kjms.2011.08.004>
4. Sedrez JA, Furlanetto TS, Gelain GM, Candotti CT. Validity and reliability of smartphones in assessing spinal kinematics: a systematic review and meta-analysis. J Manipulative Physiol Ther. 2020;43(6):635-45. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmpt.2019.10.012>
5. Ventola CL. Mobile devices and apps for health care professionals: uses and benefits. P T. 2014;39(5):356-64.
6. Cao Z, Hidalgo G, Simon T, Wei SE, Sheikh Y. OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation Using Part Affinity Fields. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell. 2021;43(1):172-86. Doi: <http://dx.doi.org/10.1109/TPAMI.2019.2929257>
7. Kadaba MP, Ramakrishnan HK, Wootten ME. Measurement of lower extremity kinematics during level walking. J Orthop Res. 1990;8(3):383-92. Doi: <http://dx.doi.org/10.1002/jor.1100080310>
8. del Rosario MB, Redmond SJ, Lovell NH. Tracking the evolution of smartphone sensing for monitoring human movement. Sensors (Basel). 2015;15(8):18901-33. Doi: <http://dx.doi.org/10.3390/s150818901>
9. Needham L, Evans M, Cosker DP, Wade L, McGuigan PM, Bilzon JL, et al. The accuracy of several pose estimation methods for 3D joint centre localisation. Sci Rep. 2021;11(1):20673. Doi: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-021-00212-x>