

RECONSTRUÇÃO 3D DE OMOPLATAS A PARTIR DE MARCAS CUTÂNEAS USANDO MODELAÇÃO ESTATÍSTICA DE FORMA

Augusto Marques¹, João Folgado¹ e Carlos Quental¹

¹ IDMEC, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal

augusto.marques@tecnico.ulisboa.pt; jfolgado@tecnico.ulisboa.pt; carlos.quental@tecnico.ulisboa.pt

PALAVRAS-CHAVE: Omoplata, Modelação estatística de forma, Marca, Reconstrução

1 INTRODUÇÃO

Na modelação músculo-esquelética, conhecer a geometria das estruturas ósseas é fundamental para estimar com precisão a cinemática, a cinética articular e as forças internas. Considerando a captura de movimento baseada em marcadores óticos para a quantificação da cinemática, a aplicação de modelos músculo-esqueléticos é normalmente feita com modelos genéricos, que são escalados por leis lineares para personalização a cada indivíduo, influenciando a estimativa das forças internas. A capacidade de reconstruir a geometria óssea a partir dos marcadores óticos utilizados durante a captura de movimento representaria um avanço significativo para a melhoria da modelação específica de cada indivíduo. No entanto, este é um tema ainda pouco explorado, especialmente no complexo do ombro, que recebe menos atenção comparado com outras regiões do corpo humano [1].

O objetivo deste trabalho foi desenvolver e validar um algoritmo para a reconstrução automática da geometria 3D de omoplatas, a partir de marcas cutâneas habitualmente consideradas na captura de movimento, usando modelação estatística de forma (SSM, *statistical shape modeling*).

2 MÉTODOS

2.1 POPULAÇÃO

O desenvolvimento e a aplicação do algoritmo para a reconstrução automática da geometria 3D de omoplatas basearam-se em dados DICOM da New Mexico Decedent Image Database (NMDID) [2]. De uma amostra de 200 indivíduos, foram selecionados aleatoriamente 56, divididos em 2 grupos: um grupo de treino, composto por 39 indivíduos (70%), para o desenvolvimento do algoritmo; e um grupo de teste, composto por 17 indivíduos (30%), para a validação do algoritmo.

2.2 MODELAÇÃO ESTATÍSTICA DE FORMA

A omoplata direita dos indivíduos incluídos no estudo foi segmentada utilizando os *softwares open-source* ITK-SNAP e 3DSlicer. Usando uma geometria de referência aleatória, o desenvolvimento do SSM incluiu um processo de registo rígido e elástico das nuvens de pontos da referência e das restantes geometrias para estabelecer correspondência entre elas. Estas correspondências permitiram calcular uma matriz de deslocamentos, que foi utilizada numa análise de componentes principais para identificar os principais modos de variação das geometrias.

2.3 RECONSTRUÇÃO 3D

Como o SSM não usa marcas cutâneas, a reconstrução 3D foi feita a partir de marcas ósseas utilizando otimização. Considerando os pesos do SSM associados aos modos de variação da omoplata como variáveis de projeto, o problema foi formulado como a minimização da distância

euclidiana entre as marcas ósseas da geometria reconstruída e as marcas ósseas alvo, com uma regularização que penaliza a seleção de valores elevados das variáveis de projeto.

Dado que o objetivo do trabalho era reconstruir a geometria de omoplatas a partir de marcas cutâneas, foram criados modelos de regressão para transformar estas marcas em correspondentes marcas ósseas a serem utilizadas pelo problema de otimização descrito. Para o desenvolvimento destes modelos, foram consideradas as 4 marcas utilizadas na captura de movimento da omoplata, conforme as recomendações da Sociedade Internacional de Biomecânica. As coordenadas ósseas destas marcas foram obtidas no *software open-source* nmsBuilder, selecionando-as diretamente nas geometrias segmentadas. As respetivas marcas cutâneas foram obtidas através da projeção das marcas ósseas na superfície da pele, combinando as imagens de tomografia computadorizada (TC) com as geometrias segmentadas. Todas as coordenadas foram transformadas para o referencial local de cada omoplata. Dezassete variáveis independentes foram consideradas no desenvolvimento dos modelos de regressão, incluindo as coordenadas das marcas cutâneas; as distâncias entre diferentes pares de marcas; e dados demográficos.

A qualidade da reconstrução foi avaliada pelo erro quadrático médio (RMSE, *root-mean-square error*) entre as nuvens de pontos da geometria reconstruída e a correspondente segmentação no grupo de teste. O impacto dos modelos de regressão foi analisado aplicando o algoritmo considerando tanto marcas ósseas previstas pelos modelos quanto medidas diretamente nas imagens de TC.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O algoritmo desenvolvido apresentou boa exatidão, com RMSEs entre 1,5 mm e 3,75 mm (Figura 1a). O teste de Kruskal-Wallis não revelou diferenças significativas entre os resultados obtidos com marcas ósseas estimadas pelos modelos de regressão e as marcas medidas experimentalmente, sugerindo um impacto limitado destes modelos nos resultados. A Figura 1b apresenta a distribuição do erro para a pior reconstrução do grupo de teste, evidenciando as áreas com maior variação geométrica e mais distantes das marcas ósseas usadas na reconstrução como mais problemáticas. Em conclusão, o algoritmo desenvolvido foi bem-sucedido na reconstrução da geometria 3D de omoplatas a partir de apenas 4 marcas cutâneas, normalmente obtidas durante a captura de movimento.

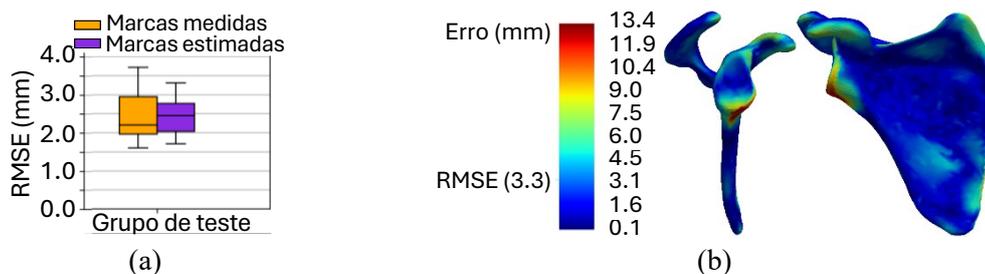


Figura 1 – Verificação da reconstrução automática de omoplatas: (a) *boxplot* do RMSE para o grupo de teste, comparando os resultados com marcas ósseas previstas pelos modelos de regressão desenvolvidos e com marcas medidas em imagens médicas; e (b) distribuição do erro para a pior reconstrução no grupo de teste.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) pelo apoio financeiro através do projeto de Financiamento Base do LAETA (DOI: 10.54499/UIDB/50022/2020).

REFERÊNCIAS

- [1] D. J. Saxby, B. A. Killen, C. Pizzolato, C. P. Carty, L. E. Diamond, L. Modenese, et al., "Machine learning methods to support personalized neuromusculoskeletal modelling", *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology*, vol. 19, pp. 1169-1185, Aug 2020.
- [2] H. Edgar, S. Berry, E. Moes, N. Adolphi, P. Bridges, K. Nolte, "New Mexico Decedent Image Database", Office of the Medical Investigator, University of New Mexico, 2020.