

Metodologia para Produção de Órtese Tornozelo e Pé através da Fotogrametria e Modelagem Tridimensional

Juvenal, EAO*, Kunkel, ME**

*Universidade Federal do ABC, São Bernardo do Campo, Brasil

**Universidade Federal de São Paulo, São José dos Campos, Brasil

e-mail: biomecanica.unifesp@gmail.com

Abstract – *Cerebral palsy (CP) refers to a group of permanente central nervous system disorders without a progressive character, and predisposes the child to orthopedic deformities. The equinus foot is the most common condition in the CP and generates difficultys in the childs gait. The intervention method uses an ankle and foot orthosis, which minimizes the effects of spascity incidente on the joint. However, the orthosis is not affordable for all patients and their is a long waiting period for the individual health care system. The additive manufacturing revolutionized the health área with the possibility of assisting in the production of orthoses. Some techniques have already been used to produce orthoses, among them photogrammetry. The objective of this research was to develop a methodology for three-dimensional production of ankle and foot orthoses, from the photogrammetry of a plastic doll. A sequence of photos was taken from the foot of a doll for processing in free software ReMake (Autodesk). The orthosis modeling process was performed with the free software Meshmixer (Autodesk). To validade the method, the 3D mesh was compared to the acquisition made with low-cost scanner, Kinect with free software CloudCompare. The processo of image reconstruction and development of the orthosis proved to be a quick and practical technique to obtain orthosis measurements for the future production of ankle and foot orthosis.*

Keywords: *ankle and foot orthosis, cerebral palsy, assistive technology, photogrammetry, and additive manufacturing.*

Introdução

A paralisia cerebral (PC) descreve um grupo de distúrbios permanentes da postura e do movimento de caráter não progressivo, decorrente de lesão no sistema nervoso central [1]. A etiologia é multifatorial e está ligada a causas pré, peri ou pós-natais [2]. Dentre os fatores de risco está a prematuridade, falta de

oxigenação cerebral durante o nascimento e infecção no período neonatal [1].

Nos países desenvolvidos a incidência dos casos de PC varia de 1,5 a 2,5 por 1000 nascidos vivos. No Brasil, um estudo estima cerca de 30 a 40 mil casos novos por ano [3]. A PC é a deficiência motora mais comum na infância e o aumento da prevalência é decorrente da sobrevida de bebês muito prematuros [1].

A classificação da PC é relacionada com base no déficit neuromuscular e distribuição topográfica [2]. A PC do tipo espástica é a mais comuns e representa cerca de 75% dos casos [1]. A espasticidade ocasiona o aumento do tônus muscular sendo um sinal clinico importante na paresia. A imobilização da parte parética pode ocasionar encurtamento muscular propiciando contratura e deformidades [4].

O pé equino é uma das manifestações ortopédica mais comuns na PC, no qual a criança anda na ponta dos pés, a correção desse problema é feita com o uso de uma órtese tornozelo e pé (OTP) [5]. A órtese é o método de intervenção dos efeitos da espasticidade incidentes na articulação do tornozelo e o uso adequado melhora os benefícios do paciente no tratamento fisioterapêutico reduzindo a necessidade de intervenção cirúrgica corretiva do pé. A aquisição da OTP não é acessível a todos e quando solicitado pelo Sistema Único de Saúde (SUS) demanda um longo período de espera. Nos últimos anos houveram algumas tentativas de utilizar novas técnicas na produção de órteses como o escaneamento a laser e fotogrametria, facilitando o desenvolvimento de produtos personalizados.

A fotogrametria é definida como uma técnica para interpretar e avaliar forma, dimensão e posição de objetos, a partir da análise e medição de imagens em que estes objetos estão contidos [6]. A técnica consiste numa metodologia de baixo custo quando comparada ao escaneamento a laser. Após digitalização e modelagem, o objeto poderá ser impresso através da manufatura aditiva.

A manufatura aditiva tem revolucionado a área da saúde com a possibilidade de auxiliar na produção de órtese anatômica entre elas a órtese de pé, punho e quadril [7-9]. Desta maneira faz-se necessário mais estudos para explorar a criação de uma metodologia para produção de OTP. O objetivo desta pesquisa foi desenvolver uma órtese tridimensional (3D) a partir da imagem obtidas do pé e perna de uma boneca plástica por fotogrametria.

Materiais e métodos

Nesta pesquisa foi desenvolvida uma metodologia para obtenção da reconstrução 3D de pé e perna que possa permitir a modelagem de uma OTP. Uma boneca foi utilizada para aquisição da imagem do pé e da perna, reproduzindo medidas de uma criança, as fotos foram realizadas com um smartphone modelo Lenovo Vibe K5 e o processamento foi feito em um notebook com configuração de 8GB-RAM, processador Intel i7 2.5GHz e sistema operacional Windows com softwares livres ReMake, Meshmixer e CloudCompare.

A metodologia adotada consistiu em gerar uma superfície 3D do pé e perna da boneca por meio da fotogrametria com uso do software ReMake (Autodesk). A fotogrametria consiste em adquirir atributos da superfície de um objeto físico que serão convertidos em dados. Os dados obtidos são chamados de nuvens de pontos de coordenadas (XYZ) distribuídos no espaço e a partir delas podem construir modelos virtuais da superfície digitalizada [6]. Após esse processo, foi utilizado o software Meshmixer. A modelagem da órtese foi feita a partir da reconstrução 3D do pé e da perna.

A boneca foi posicionada em cima de uma mesa pequena, em decúbito dorsal com elevação da perna com o pé voltado para cima para captação das fotos (Fig. 1). Uma meia foi utilizada para evitar reflexos. As imagens foram obtidas em ambiente com iluminação controlada. Foram tiradas 88 fotos manualmente ao redor da boneca, com distância aproximada de 20 cm, em trajetória espiral em 3 diferentes alturas.



Figura 1. Posicionamento da boneca para aquisição das fotos para fotogrametria

O processamento das imagens para criar o modelo 3D foi realizado em ambiente on-line no software ReMake, com qualidade ultra para obtenção dos melhores resultados. O processamento demorou cerca de 30 minutos para produção do modelo final e ao término foi salvo no formato “.rcm”. Algumas ferramentas foram disponibilizadas como: recorte da área desejada com a função “*Slice*”, suavização da malha “*Smooth*”, solidificação da malha, função “*analyses*” para analisar e corrigir imperfeições. O arquivo foi salvo e exportado para o software Meshmixer no formato “.obj”.

Para validação da reconstrução da fotogrametria da geometria do pé e perna da boneca foi realizado o escaneamento 3D da boneca com o sensor 3D de baixo custo Microsoft Kinect com resolução de 640x480 pixels e o software skanect. O processo de aquisição de imagem do pé e da perna durou cerca de 10 minutos. O posicionamento da boneca foi o mesmo nos dois casos. As malhas obtidas foram comparadas no software CloudCompare que promove alinhamento e sobreposição das malhas, gerando um mapa topográfico da distância entre elas.

A partir da reconstrução 3D obtida do pé e perna da boneca foi realizada a modelagem da órtese no software Meshmixer. Para modelagem foi utilizada a opção “*unwrapping brush*” para classificação dos objetos presentes na modelagem, sendo pé e órtese. Com o cursor do mouse, a área equivalente da órtese foi selecionada na reconstrução 3D do pé e perna sendo a altura determinada a 2,5 cm abaixo da fossa posterior do joelho, envolvendo tornozelo e 1º e 5º metatarso. A área demarcada permanece em laranja e serrilhada, sendo utilizada a função “*smooth moudaury*” para suavização das curvas. Para determinar a espessura da órtese e a distância da parte interior da órtese até a boneca foi aplicada a função “*offset*”, sendo aplicado o valor de 3mm nos dois casos. A finalização do modelo da órtese foi feita selecionando as bordas da órtese com arredondamento da área através da função “*crease angle*”. Desse modo, a modelagem 3D da OTP foi concluída e o modelo pode ser produzido por manufatura aditiva.

Resultados

O processo de aquisição de fotos e reconstrução 3D resultou em uma nuvem de pontos que descreve o pé e perna da boneca (Fig. 2). A aquisição das fotos foi feita por fotogrametria em um período de tempo maior do

que a aquisição feita pelo Kinect, incluindo preparação do espaço e a obtenção das fotos. O tempo médio de modelagem da órtese foi de 15 min independente da forma de aquisição. As imagens obtidas por escaneamento e por fotogrametria, retirando apenas a área de interesse resultou em uma nuvem de pontos descrito no Quadro 1.

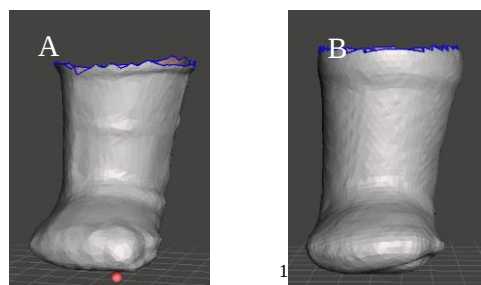


Figura 2. Modelo 3D do pé e perna da boneca: A) Modelo 3D obtido por fotogrametria. B) Modelo 3D obtido pelo Kinect.

Características	Tecnologia	
	Kinect	Fotogrametria
Custo (reais)	300,00	*
Habilidade do operador	Baixo	Baixa
Nº vértices do modelo	9.965	15.625
Nº faces do modelo	18.927	34.104
Tempo de processamento (Min)	10	40

Quadro 1. Comparativo entre 2 técnicas de reconstrução 3D do pé e perna de uma boneca.

A comparação dos dois modelos do pé e perna da boneca por meio do software livre CloudCompare apresentou uma amplitude de diferença das malhas de -0,06 mm (Fig. 3).

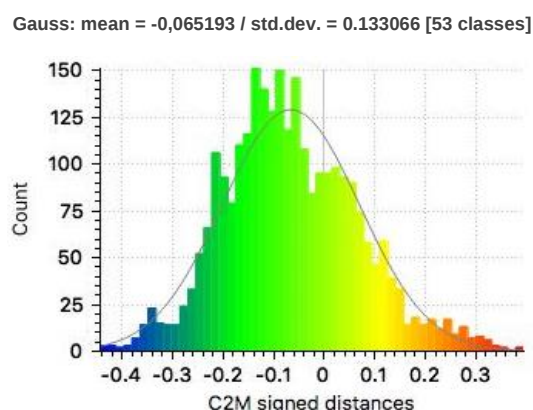


Figura 3 – Histograma das dimensões da reconstrução 3D do pé e perna da boneca.

* Câmera de celular ou máquina fotográfica digital

O desenvolvimento da OTP foi possível através da digitalização e modelagem 3D utilizando softwares livres (Fig. 4).

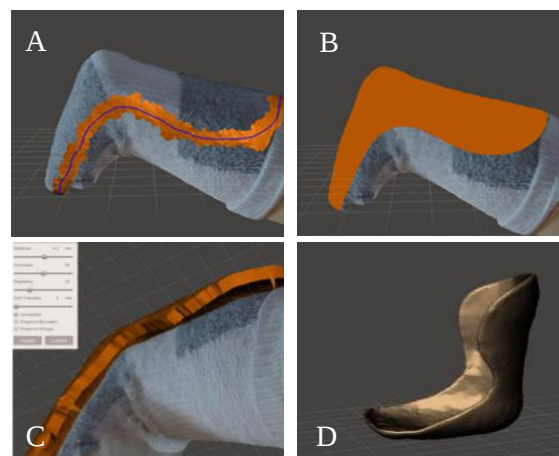


Figura 4. Processo de modelagem 3D da órtese tornozelo e pé. A) Área demarcada da órtese. B) Arredondamento Função *Smooth boundary*. C) Função *off set* para espessura e distância até contato de contato. D) Modelo 3D produzido.

A metodologia proposta aliada ao conhecimento básico do software Meshmixer poderá ser utilizada para produzir o protótipo de OTP através da manufatura aditiva. Dessa forma o processo de aquisição e modelagem podem ser realizados em menor tempo afim de produzir a órtese do paciente de forma mais rápida e eficaz.

Discussão

A OTP é um dispositivo ortopédico e tem a função de alinhar, prevenir e corrigir as deformidades do tornozelo [10]. O processo de confecção tradicional é um trabalho manual demorado feito sob molde de gesso para manter a forma anatômica do paciente. Esta pesquisa apresenta uma nova possibilidade para criação de órtese a partir da fotogrametria como alternativa de baixo custo para crianças com PC.

A fotogrametria está associada ao utilizador comum por meio de aplicações para smartphones, sendo possível produzir um modelo 3D, quanto maior o número de detalhes maior será a quantidade de fotos a serem adquiridas [6]. A utilização do software Remake apresentou bons resultados em objetos estáticos, porém pode ser um desafio na aquisição da imagem com crianças devido a necessidade de a mesma permanecer sem movimento durante a aquisição das fotos. A fotogrametria apresenta limitações

em área de pouca iluminação, superfície reflexivas, mudanças abruptas de profundidade e longo período de processamento.

O Kinect é um sensor de alcance sendo uma alternativa ao escaneamento a laser de alto custo. O Kinect permite realizar a reconstrução de uma cena com erro menor que um centímetro por pixel estando posicionado a 2,5 metros do centro da cena [11]. No estudo de Munhoz [9] foi comparada a diferença de malha 3D de uma órtese de quadril obtida por fotogrametria e por laser de alto custo com amplitude de diferença de 10mm. Neste estudo a diferença da malha obtida pelo Kinect em referência à fotogrametria mínima.

A utilização da fotogrametria aliada à manufatura aditiva pode trazer bons resultados na produção de protótipos. Alguns pesquisadores desenvolveram órtese de membro inferior a partir dessa técnica no qual houve liberdade no design da órtese, além da redução do tempo para produção a partir da manufatura aditiva, sendo necessário 2 horas incluindo aquisição de imagem, confecção e ajuste, porém não demonstra o processo de modelagem e aquisição de imagem [7,12]. Na pesquisa de Cano [8] foi produzida uma órtese de punho através de manufatura aditiva com custo menor do que as órteses convencionais de punho. A OTP para crianças de 0 a 2 anos de idade tem custo médio de R\$ 345,00 cada, sendo um custo elevado e é necessário a troca anual devido a fase de crescimento da criança.

A metodologia proposta visa reduzir o tempo e o trabalho árduo na produção, com menor custo e maior adaptabilidade ao paciente, gerando mais conforto e reduzindo a incidência de úlceras de pressão que acontece em alguns casos. A utilização da modelagem a partir da digitalização demonstrou ser uma possibilidade para produção de protótipos de órtese. O método apresentado é acessível às pessoas da área de saúde com vantagem em relação a engenharia devido a conhecimentos da parte clínica. A metodologia possibilita também a produção de outras órteses necessárias na reabilitação motora.

Conclusão

O modelo 3D da OTP utilizando a fotogrametria e modelagem apresentou um bom resultado. A utilização dessa metodologia para produção de órtese diminui o tempo de produção, possibilita a redução de custo e maior adaptabilidade no paciente. O modelo 3D proposto poderá ser usado para o

desenvolvimento da órtese para tratamento do pé em equino das crianças com paralisia cerebral.

Agradecimento

Ao CNPq.

Referências

- [1] Edwin D, Akshay D. Cerebral Palsy: A brief Review. Acad J Ped Neonatol. 2017; 4(1):1-4.
- [2] Leite JMRS, Prado GF. Paralisia Cerebral – Aspectos Fisioterapêuticos e Clínicos. Rev. Neurociência. 2004;12(1):41-44.
- [3] Mancini MC, et al. Comparação do desempenho de atividades funcionais em crianças com desenvolvimento normal e criança com paralisia cerebral. Arq. Neuro-psiquiatr. 2002;60(2B):446-452.
- [4] Rekand T. Clinical assessment and management of spasticity: a review. Acta Neurol Scand. 2010;122(Suppl.190):62-66.
- [5] Amaral PP, et al. Alterações ortopédicas em crianças com paralisia cerebral da clínica-escola de fisioterapia da universidade metodista de São Paulo. Rev. Neurociência. 2003;11(1):29-33.
- [6] Dantas, PVF, et al. Protótipo de dispositivo facilitador para digitalização 3D por fotogrametria com smartphones. In: XX Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics. 2016; Buenos Aires. Blucher Design Proceedings, 2016;3:297-304.
- [7] Telfer S, et al. Embracing additive manufacture: implications for foot and ankle orthosis design. BMC Musculoskeletal Disorders, 2012;13:84.
- [8] Cano APD. Parametrização e produção de órtese termomoldável para imobilização de punho produzida por manufatura aditiva. 102p. [TCC]. São José dos Campos: Universidade Federal de São Paulo; 2017.
- [9] Munhoz R, et al. A digital approach for design and fabrication by rapid prototyping of orthosis for developmental dysplasia of the hip. Res. Biomed. Eng. 2016;32(1):63-73.
- [10] Lucareli PRG, et al. Changes in joint kinematics in children with cerebral palsy while walking with and without a floor reaction ankle-foot orthosis. Clinics. 2007;62(1):63-68.
- [11] Khoshellam K, Elberink SO. Accuracy and resolution of kinect depth data for indoor mapping applications. Sensors. 2012;12:1437-54.
- [12] Juman M, et al. Fused deposition modelling technique for fabrication of custom-made foot orthoses: a cost and benefit analysis. Sci-int.com. 2014; 26(5):2571-76