

ERGONOMIA NO PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM ARO DE PROPULSÃO MANUAL PARA CADEIRA DE RODAS

F. O. Medola*, V. M. C. Elui** e C. A. Fortulan***

*Programa de Pós-graduação Interunidades Bioengenharia - EESC/FMRP/IQSC – USP, São Carlos, Brasil

** Departamento de Neurociências e Ciências Comportamentais / FMRP – USP, Ribeirão Preto, Brasil

*** Departamento de Engenharia Mecânica / EESC – USP, São Carlos, Brasil
E-mail: fmedola@yahoo.com.br

Abstract: The manual propulsion represents the main form of locomotion of people who need a wheelchair, and has been associated with high prevalence of pain and inflammation in the shoulder and wrist. It is presented the development of an original pushrim based on anthropometric measurements and ergonomic features, aiming to produce larger contact area and pressure distribution compared to the conventional pushrim. To produce the prototype, it was used the technique of Rapid Prototyping 3D Print, and a model of pushrim was obtained by molding parts. The model showed satisfactory engagement with the hand, and will be experienced by wheelchair users to evaluate their satisfaction.

Palavras-chave: Wheelchairs, Rehabilitation, Human Engineering.

Introdução

As cadeiras de rodas são utilizadas para melhorar a função e a independência, e capacitar uma pessoa para viver em casa e na comunidade [1]. A propulsão manual de cadeira de rodas é a fonte primária de mobilidade para muitas pessoas com deficiências. As extremidades superiores servem originalmente não como membros de suporte de peso, mas para desenvolvimento de tarefas de manuseio, porém os usuários de cadeira de rodas submetem as mãos e punhos a um estresse particularmente alto [2]. A propulsão manual de cadeira de rodas tem sido associada com alta prevalência de dor e com um aumento de risco (31% a 73%) de desenvolvimento de lesões nos membros superiores. Esta elevada prevalência pode ser explicada em parte pela combinação de atividades repetitivas com altas cargas impostas às extremidades superiores de indivíduos usuários de cadeiras de rodas [3].

O aro de propulsão é um tubo circular feito de aço inoxidável ou alumínio leve, usado para a autopropulsão manual da cadeira de rodas. Estes aros são padronizados e disponíveis nas cadeiras de rodas, e também vendidos para substituição de aros de cadeiras usadas. Porém, não possuem características ergonômicas e não foram

desenvolvidos para variações na função de membros superiores [4]. O diâmetro dos tubos de aros convencionais é muito pequeno para proporcionar preensão ideal entre a palma da mão e os dedos, o que leva a uma série de problemas. Primeiro, reduz a área de contato entre a mão e o aro, o que aumenta a pressão nos pontos de contato da mão, e aumenta as forças transmitidas a estruturas delicadas da mão. Ainda, a inabilidade em agarrar o aro com a palma inteira e os dedos reduz a eficiência mecânica por recrutar musculatura para estabilização da mão no aro ao invés de promover potência à propulsão da cadeira [5]. Desta forma, a redução da eficiência mecânica e o aumento das forças quando se utilizam os aros convencionais pode contribuir para o desenvolvimento de lesões secundárias de membros superiores, como a Síndrome do Túnel do Carpo [6]. O aro feito de metal ou alumínio tem características de transferência de calor relativamente altas. Do outro lado, os revestimentos de borracha, que oferecem bom atrito, aumentam muito a temperatura nas frenagens, o que torna desconfortável [5].

O objetivo deste estudo é apresentar o desenvolvimento de um aro de propulsão manual para cadeira de rodas, baseado em um projeto original fundamentado em conceitos antropométricos e ergonômicos.

Materiais e Métodos

Para o design de um aro de propulsão ergonômico para cadeira de rodas, foram aplicados conceitos antropométricos (indivíduos adultos), princípios do design ergonômico de ferramentas manuais, além de se considerar as medidas padrões de aros convencionais e dos propostos em patentes anteriores. Em seguida, foi desenvolvido um projeto no software de CAD *Solid Edge ST2*, que deu origem a um protótipo em gesso através do processo de prototipagem rápida “*3D Print*”. Este protótipo, segmento 1/8 do aro, foi utilizado na confecção de um molde de silicone, através do qual foram reproduzidos oito segmentos de tamanho real em poliuretano, que foram unidos consecutivamente para a

obtenção do aro completo e pronto para instalação na cadeira de rodas. Na seqüência, será realizada a experimentação do equipamento por indivíduos cadeirantes pacientes do Centro de Reabilitação do Hospital de Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto – USP (HC-FMRP-USP) com atividades de propulsão, frenagem, aceleração, desaceleração, manobra e transposição de obstáculos, dentro das dependências do HC-FMRP-USP. Após esta atividade, os indivíduos serão submetidos a entrevista para avaliação da percepção da qualidade do equipamento. Estas etapas do estudo receberam aprovação do Comitê de Ética de acordo com Parecer n. 6057/2010 do CEP do HCRP e da FMRP-USP.

Resultados

Com a preocupação de não aumentar as dimensões da cadeira, foi estabelecido que a largura limite do aro não excedesse 4 cm para a lateral da roda, medida esta encontrada nos aros disponíveis atualmente. Tomando por base os dados antropométricos da mão apresentados por Paschoarelli et al. [7], foi estipulado que, para o presente estudo, o comprimento da mão pode ser representado pelo valor aproximado de 18,5 cm. Como o objetivo do equipamento proposto é oferecer ampla superfície de contato, sem exigir preensões com elevada flexão dos dedos sobre a palma, conforme os princípios do desenho ergonômico [8] considerou-se adequado o aro oferecer aproximadamente 12 cm de contato para a mão, quase o dobro dos insuficientes 6,28cm do aro convencional de 2 cm de diâmetro. A Figura 1 apresenta o formato e dimensões do aro em seção transversal no software *Solid Edge ST2*.

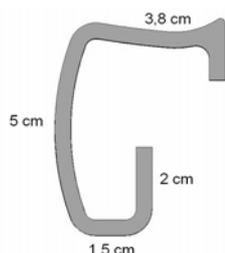


Figura 1. Design da seção transversal do aro.

A partir das especificações dimensionais nas proporções reais, obteve-se imagem digitalizada do aro em 3D, que foi dividida em oito segmentos de tamanho adequado para a impressão de um protótipo em gesso (FIGURA 2).



Figura 2. (a) aro completo; (b) segmento 1/ 8.

Para a união dos oito segmentos do aro, foi elaborado um sistema de montagem baseado em peças de encaixe interno, que oferecem sustentação e conexão de dois segmentos consecutivos. Desta forma, para cada aro da cadeira de rodas, foram produzidos oito segmentos de aro e oito peças de encaixe interno (FIGURA 3). Todas as peças foram produzidas utilizando-se a mesma técnica de prototipagem rápida *3D Print*, seguida de confecção de molde de silicone para moldagem das peças prontas.



Figura 3. Sistema de montagem com peças de encaixe interno.

Para confecção dos segmentos e peças do aro a partir do molde de silicone, foi utilizado como matéria prima o Poliuretano RP-50 (empresa OLIGOM-TEC), por apresentar boa adequação e fácil extração do molde de silicone, custo dentro das possibilidades do estudo, além de apresentar propriedades mecânicas adequadas ao equipamento.

O modelo apresentou acoplamento satisfatório com a mão, com maior superfície de contato, postura menos flexora dos dedos, apoio adequado para o polegar e eminência tenar. A Figura 4 apresenta visualização do encaixe da mão ao aro convencional e ao aro ergonômico confeccionado com poliuretano.



Figura 4. Acoplamento da mão: (a) aro ergonômico; (b) aro convencional.

A instalação do aro ergonômico na roda da cadeira foi realizada aproveitando-se o sistema de instalação de seu aro convencional, com quadro orifícios para parafusos. (FIGURA 5).



Figura 5. Instalação com parafuso e adaptação para encaixe das abas nos raios da roda.

Cada segmento do aro possui uma aba posicionada medialmente. Quatro segmentos foram parafusados, e quatro foram adaptados para encaixe nos raios da roda. Esta adaptação foi necessária considerando o fato de os diversos tipos de cadeiras possuírem fixações em quatro, seis ou oito locais do aro da roda. A Figura 6 apresenta o aspecto final de uma cadeira de rodas com o aro ergonômico, onde se pode observar o encaixe adequado para as mãos, com postura menos flexora dos dedos e maior superfície de contato.



Figura 6. Imagem final de uma cadeira de rodas com o aro ergonômico.

Discussão

A técnica de projeto baseada em projeto com software de CAD e prototipagem rápida seguida de moldagem forneceu protótipo de qualidade, e mostrou-se adequada às propostas do presente estudo. De fato, Gorni [9] considera a prototipagem rápida o melhor processo de manufatura possível quando é necessário produzir pequenos lotes de peças e ou no caso de componentes complicados. Da mesma forma, a produção de peças de poliuretano a partir de molde feito de borracha de silicone mostrou-se uma técnica relativamente simples, capaz de gerar peças com alto poder copiativo.

O modelo produzido apresentou bom acoplamento com a mão, e cumpriu os objetivos de minimizar a postura flexora dos dedos e oferecer maior superfície de contato, através de seu desenho ergonômico baseado em medidas antropométricas da mão. Fundamentando os achados do presente estudo, Iida [10] afirma que o design ergonômico (ou antropomorfo) considera a anatomia humana, oferece maior superfície de contato e pega com maior firmeza, com menor concentração de pressões nas regiões de contato das mãos. A melhora nas propriedades ergonômicas das ferramentas manuais influencia de forma positiva a saúde e satisfação dos usuários [11]. Paschoarelli e Coury [12] recomendam que as pegas e empunhaduras dos equipamentos manuais devem ser projetadas de forma a evitar o uso freqüente do indicador ou polegar, distribuindo esta exigência física aos demais dedos. A distribuição de pressão em toda a palma e dedos da mão diminui a necessidade de esforços em pontos específicos, em especial o polegar. Desta forma, a atividade muscular dos pequenos músculos da mão pode estar diminuída.

Há ainda a necessidade de avaliação do produto por parte daqueles que o utilizam. O conforto é um dos principais desfechos avaliados na experimentação de ferramentas manuais. Para Vink e Kuijt-evers [13], o conforto é associado com sensação de relaxamento e bem estar, e o desconforto é associado com dor, cansaço, irritabilidade e dormência. No presente estudo, o conforto será avaliado na experimentação do equipamento pelos usuários de cadeira de rodas, e é considerado o principal desfecho do estudo, uma vez que dele depende a adesão e interesse dos usuários para com o novo aro, o que pode justificar estudos posteriores e melhorias no equipamento.

Espera-se, por fim, proporcionar reflexão dos profissionais que trabalham com pessoas com deficiência física sobre as necessidades e possibilidades de melhorias no equipamento cadeira de rodas, para melhor funcionalidade e maior independência daqueles que necessitam.

Conclusão

O modelo de aro obtido apresentou acoplamento satisfatório com a mão, e apresentou melhores aspectos ergonômicos. A técnica de projeto baseada em CAD e prototipagem rápida seguida de moldagem forneceu protótipo de qualidade e baixo custo. Faz-se necessária a experimentação do novo aro por usuários de cadeira de rodas, com protocolo de avaliação, para validação do projeto e melhoramento do equipamento desenvolvido. Desta forma, a avaliação positiva do equipamento fundamentará a expansão de seu conceito ergonômico para a produção de modelos em diferentes dimensões, com o objetivo de oferecer seus benefícios para todos que fazem uso de cadeira de rodas.

Referências

- [1] Scherer, M., Cushman, L. (2001) "Measuring subjective quality of life following spinal cord injury: a validation study of assistive technology device predisposition assessment" *Disability and Rehabilitation*, v.23, p. 387-393.
- [2] Wei, S.H., Huang, S.L., Jiang, C.J., Chiu, J.C. (2003) "Wrist kinematic characterization of wheelchair propulsion various seating positions: implication to wrist pain" *Clinical Biomechanics*, v.18, p.46-52.
- [3] Desroches, G., Aissaoui, R., Bourbonnais, D. (2008) "Relationship between resultant force at the pushrim and the net shoulder joint moments during manual wheelchair propulsion in elderly persons" *Archives of Physical Medicine Rehabilitation*, v. 89, p. 1155-1161.
- [4] Dieruf, K., Ewer, L., Boninger, D. (2008) "The Natural-Fit handrim: factors related to improvement in symptoms and function in wheelchair users" *Journal of Spinal Cord Medicine*, v.31, p.62-69.
- [5] Richter, W.M., Noon, J.H., Axelson, P.W. (2007) "Ergonomic wheelchair hand rim" *US Patent* n.

7303203.

- [6] Willems, C.J., Baldwin, M., Boninger, M., Cooper, R. (2009) "Wheelchair pushrim" *US Patent* n. 7497456.
- [7] Paschoarelli, L.C., Sousa, B.C., Silva, D.C., Silva, J.C.P. (2008) "A influência da variedade antropométrica entre mãos de destros e canhotos no design ergonômico de instrumentos manuais: um estudo preliminar" *Estudos em Design*, v.15, n.1, p. 45-57.
- [8] Freund, J., Takala, E.P., Toivonen, R. (2000) "Effects of two ergonomics aids on the usability of an in-line screwdriver" *Applied Ergonomics*, v. 31, p.371-376.
- [9] Gorni, A.A. (2001) "Prototipagem Rápida: O Que É, Quem Faz e Por Que Utilizá-la" *Plástico Industrial*, v.1, p. 230-239.
- [10] Iida, I. (2005) *Ergonomia: Projeto e Produção*, 2ª Ed., São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 630p.
- [11] Kadefors, R., Areskoug, A., Dahlman, S., Kilbom, A., Sperling, L., Wikstro, M. L., O'ster, J. (1993) "An approach to ergonomics evaluation of hand tools" *Applied Ergonomics*, v.24, n.3, p.203-211.
- [12] Paschoarelli, L.C., Coury, H.J.C.G. (2000) "Aspectos Ergonômicos e de Usabilidade no Design de Pegas e Empunhaduras" *Estudos em Design*, v. 8, n.1, p.79-101.
- [13] Vink, P., Looze, M. P., Kuijt-evers, L. F. M. (2004) "Theory of Comfort", In: Vink, P. *Comfort and Design: Principles and Good Practice*. London: CRC PRESS, p.13-32.