

Forças manuais e o design de produtos: uma revisão

Hand strength and the product design: a review

Bruno Montanari Razza¹; Luis Carlos Paschoarelli²; Cristina do Carmo Lucio³

¹ M.Sc. Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Design e Moda. E-mail: bmrazza@uem.br (autor para correspondência)

² D.Sc. Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Departamento de Desenho Industrial. E-mail: lcpacho@faac.unesp.br

³ M.Sc. Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Design e Moda. E-mail: cristinalucio@uol.com.br

RESUMO

A manipulação de objetos faz parte da maior parte das atividades da vida diária e muitos produtos e tarefas exigem grandes aplicações de força manual. Os índices elevados de lesões e acidentes relacionados a essa atividade é resultado, dentre outros fatores, da falta de parâmetros para a produção de produtos mais adequados. O objetivo deste estudo foi revisar as pesquisas realizadas sobre forças manuais e indicar as características e variáveis que influenciam a realização de atividades ocupacionais e cotidianas. Dentre os diversos fatores analisados, destaca-se a postura corporal e os posicionamentos dos diversos segmentos corporais, como por exemplo a redução da força gerada com o punho em posições não-neutras. O tipo de preensão também foi bastante investigado, sendo que as preensões palmares permitem realizar maior força que as preensões digitais. Em avaliações de torque, os movimentos de flexo-extensão do punho são, em geral, mais fortes que os de prono-supinação. De forma geral, os objetos circulares ou que apresentam acabamento superficial muito liso são menos efetivos em ações onde é necessária maior força. Essas considerações destacam a importância de se conhecer as variáveis relacionadas às atividades manuais, e indicam a necessidade de investigar mais detalhadamente a interface mão-objeto em atividades funcionais tanto ocupacionais quanto cotidianas.

Palavras-chave: Design. Ergonomia. Biomecânica. Forças manuais. Preensão.

ABSTRACT

Object manipulation is common in most daily living activities and many products and tasks require the application of large hand strength. The great incidence of injuries and accidents related to manual activity is a result of the lack of reliable and consistent parameters to design more efficient products. The aim of this paper was to review studies related to hand strength and indicate the characteristics and variables that have influence on the occupational tasks and everyday activities. Among those characteristics, we highlight the body posture and the positioning of various body segments as factors that may reduce the force, such as wrist deviation or inadequate postures. The type of grip was also widely investigated, resulting that handgrip can exert more force than pinch grips. In rotary strength evaluations, the flexion and extension movements of the wrist are generally stronger than pronation-supination. In general, cylindrical objects or those which have smooth surface finish are less effective in activities where greater strength is required. These considerations highlight the importance of knowing the variables related to manual activities, and indicate the need to investigate further the hand-object interface in both occupational and everyday activities.

Keywords: Design. Ergonomics. Biomechanics. Hand strength. Grip.

1 INTRODUÇÃO

A manipulação de objetos é comum na maior parte das atividades da vida diária, na qual as mãos, por meio da ação conjunta do movimento de preensão com aplicação de força muscular, executam a ação mecânica. O dimensionamento incorreto da demanda de força de um produto/atividade pode gerar limitações nas tarefas, tanto para os usuários mais fortes (de mãos menos sensíveis), podendo provocar acionamentos acidentais, quanto para os mais fracos, que trabalharão com sobrecarga de seus sistemas ósteo-musculares, sob risco de lesão, ou simplesmente de não conseguirem realizar a atividade (PHEASANT, 1996; MITAL; KUMAR, 1998a, 1998b).

Essas exigências inadequadas de força têm levado a um aumento nos diagnósticos de doenças ocupacionais relacionadas aos membros superiores (KATTEL et al., 1996). Nos Estados Unidos, 45% do total de lesões na indústria estão associadas à aplicação de forças com as mãos,

transporte manual de cargas e uso de ferramentas manuais, representando um custo anual de mais de 150 bilhões de dólares (AGHAZADEH; MITAL, 1987).

Além das doenças ocupacionais, são comuns os problemas de dimensionamento de força em produtos de consumo. Em embalagens fechadas a vácuo ou que possuem lacres de segurança para crianças, por exemplo, são frequentes as reclamações de indivíduos que não possuem força suficiente para utilizá-las. Neste grupo incluem-se principalmente mulheres e idosos – uma preocupação crescente, tendo em vista o aumento na expectativa de vida e o maior número de idosos vivendo sozinhos (VOORBIJ; STEENBEKKERS, 2002).

Nesse contexto, Crawford et al. (2002) relatam que, no Reino Unido em 1994, houve 550 acidentes com a abertura de frascos de vidro e 610 acidentes com a abertura de frascos de plástico, sendo estas ocorrências atribuídas ao uso de ferramentas cortantes, empregadas para auxiliar a abertura de tampas duras e lacres difíceis de serem retirados apenas com as mãos. Nesse estudo, também foram avaliadas nove embalagens disponíveis no mercado e apontaram que seis apresentavam demanda de força superior à capacidade dos idosos, e destas, duas apresentavam exigências superiores à capacidade até de indivíduos adultos jovens. Outra pesquisa apontou que 20% dos idosos apresentam dificuldades em abrir embalagens de vidro (VOORBIJ; STEENBEKKERS, 2002).

A grande incidência de doenças ocupacionais, acidentes e lesões é resultado, dentre outros fatores, da má qualidade e inadequação dos produtos no mercado. Nesse sentido, o design tem por principal objetivo encontrar a relação mais efetiva e segura entre o trabalhador e a ferramenta, o que pode ser alcançado tanto pelo projeto de equipamentos e tarefas que aliviem a carga biomecânica no ser humano, quanto pela escolha de ferramentas adequadas à tarefa e ao trabalhador (MITAL; SANGHAVI, 1986). Para isso, é necessário que sejam feitos levantamentos da capacidade humana de realização de forças manuais.

O estudo das capacidades manipulativas das mãos teve início com a análise das preensões e das forças envolvidas. As preensões podem ser divididas, segundo Napier (1956), em dois grupos: as preensões de força (preensões palmares) e as preensões de precisão (preensões digitais) – embora outras denominações tenham sido propostas (Figura 1).

Além das forças de preensão (que mensuram a força aplicada pelos dedos ao segurar um objeto), alguns autores têm proposto novas abordagens nesse campo, buscando reproduzir em laboratório algumas interfaces comumente encontradas em tarefas ocupacionais e em atividades da vida diária (AVD), como por exemplo, movimentos rotacionais realizados pelos membros superiores, forças de puxar (tração), compressão e torque aliadas a preensões digitais e palmares sob diversas interfaces (Figura 2).

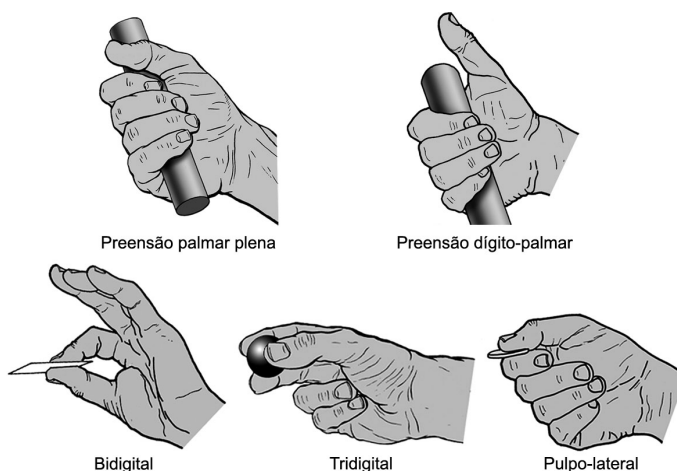


Figura 1. Preensões palmares (acima) e preensões digitais (abaixo) mais comuns.

Fonte: Adaptado de Kapandji (1987).

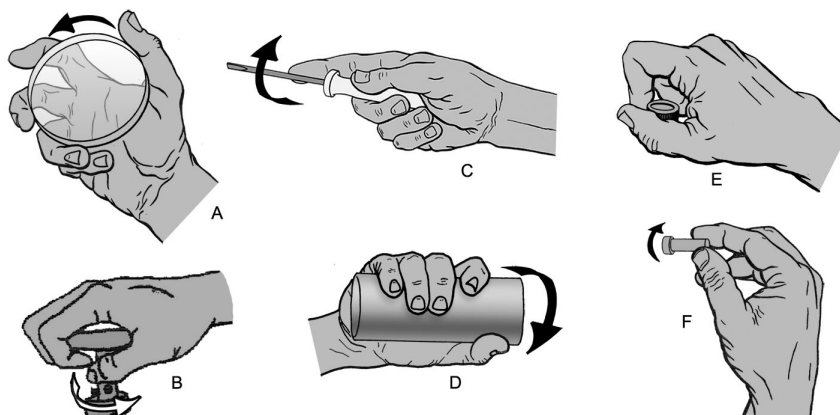


Figura 2. Atividades manuais com associação da preensão ao torque, A e B – desvios radial/ulnar (abrir frascos, acionar torneiras e válvulas horizontais); C – pronação/supinação do antebraço (uso de chaves-de-fenda, maçanetas); D – flexão/extensão do punho (acionamento do acelerador de uma motocicleta); E e F – torque realizado com movimentos dos dedos (manejos delicados, acionamento de botões ou na abertura de pequenas tampas).

Fonte: Adaptado de Kapandji (1987) e Shih e Wang (1997).

Neste estudo serão discutidas prioritariamente as pesquisas que contribuem, através da geração de parâmetros de forças manuais, para o design de produtos e tarefas, e os estudos que, de certa forma, contribuam para um melhor conhecimento da biomecânica humana nesta área específica do conhecimento. Em razão da enorme complexidade em pesquisas desta natureza e de toda a gama de variáveis envolvidas, este artigo será subdividido em três partes: os fatores individuais, os fatores biomecânicos e os fatores do objeto. Os fatores individuais apresentam as características, capacidades e limitações do público ao qual o produto estará sendo destinado; os fatores biomecânicos estão relacionados a características fisiológicas, anatômicas e posturais dos sujeitos em relação à atividade; e os fatores do objeto apresentam a relação direta entre o formato, tamanho, acabamento superficial e orientação dos objetos na realização de forças manuais.

O objetivo deste estudo é apresentar o estado da arte das avaliações de forças manuais, agrupadas entre as principais categorias de atividade (força de preensão, tração e torque), indicar as características e variáveis que influenciam a ação biomecânica e como estas pesquisas podem contribuir para melhorar o projeto de produtos industriais.

2 FATORES INDIVIDUAIS

2.1 GÊNERO

De acordo com Sanders e McCormick (1993), das muitas características individuais que podem afetar a força, o gênero apresenta as maiores diferenças em valores médios – o gênero feminino gera forças em torno de dois terços (67%) da força do gênero masculino, podendo ainda variar de 35% a 89% dependendo do grupo muscular avaliado.

Nas avaliações de forças manuais, tanto de força de preensão (palmar ou digital) quanto de torque, o gênero feminino realizou forças que variaram, aproximadamente, de 50% a 70% da força realizada pelo gênero masculino (EDGREN et al., 2004; CROSBY et al., 1994; HÄRKÖNEN et al., 1993; HEFFERNAN; FREIVALDS, 2000; SHIH; OU, 2005; IMRHAN; JENKINS, 1999; KIM; KIM, 2000; SHIH; WANG, 1996; 1997; MITAL, 1986).

Essa diferença, entretanto, não é constante e pode variar muito entre os indivíduos (havendo

muitas mulheres mais fortes que homens). Kong e Lowe (2005a) não encontraram diferenças significativas entre os gêneros de sua amostra. Imrhan e Loo (1989), Ager et al. (1984) e Fullwood (1986) observaram que na infância a diferença entre os gêneros é reduzida e aumenta com o passar dos anos, mas, mesmo nas idades mais tenras, o gênero masculino era significativamente mais forte que o feminino. As diferenças de força entre os gêneros aumentam na fase adulta e voltam a reduzir na velhice, indicando que a perda de força é mais intensa entre os homens (IMRHAN; LOO, 1989).

2.2. IDADE

A maioria dos estudos apresenta uma tendência comum de variação da força manual relacionada à idade do indivíduo, havendo um pico de força no início da fase adulta e um declínio gradual até o início da velhice (MATHIOWETZ et al., 1985a; MONTOYE; LAMPHEAR, 1977; VOORBIJ; STEENBEKKERS, 2001, entre outros). Esse declínio da capacidade de aplicação de força não afeta todos os músculos de maneira uniforme; para as forças manuais e flexão dos joelhos, por exemplo, há um declínio maior que para a flexão do cotovelo ou do tronco (SANDERS; McCORMICK, 1993).

De acordo com algumas pesquisas, pode-se discriminar que o período em que se obtém a força máxima está na faixa dos 25-29 anos (MONTOYE; LAMPHEAR, 1977; VOORBIJ; STEENBEKKERS, 2001) e o marco para o início da perda da capacidade muscular relacionada à idade está situado entre os 50 e 55 anos de idade (MATHIOWETZ et al., 1986; MONTOYE; LAMPHEAR, 1977; HANTEN et al., 1999; VOORBIJ; STEENBEKKERS, 2001).

Com o avanço da idade, indivíduos idosos passam a apresentar força equivalente a adolescentes ou crianças (PEEBLES; NORRIS, 2000, 2003; IMRHAN; LOO, 1989). Peebles e Norris (2000, 2003) avaliaram forças manuais em uma faixa etária ampla da população (2 - 86 anos) e identificaram que os indivíduos de 60 a 80 anos apresentaram forças semelhantes aos indivíduos de 11 a 15, e os indivíduos acima de 80 anos realizaram forças equivalentes a crianças de 6 a 10. Entretanto, alguns estudos não encontraram influências significativas da idade na realização de forças manuais (ARAÚJO et al., 2002; CROSBY et al., 1994; CAPORRINO et al., 1998), mesmo sendo analisada uma faixa ampla da população (15 - 74 anos, 16 - 63 anos e 20 - 59 anos, respectivamente).

2.3 ANTROPOMETRIA

A força potencial de um músculo pode ser estimada pela medição de sua seção circular em repouso, tendo-se em vista que o número de seus elementos contráteis é proporcional ao volume deste músculo (KOZIN et al., 1999). Essa premissa leva a crer em uma relação entre variáveis antropométricas (principalmente não lineares) e a força muscular de um indivíduo. Hanten et al. (1999) observaram, em sua avaliação da força de preensão palmar (FPP) em 1182 indivíduos de ambos os gêneros, que a estatura e o peso estão diretamente relacionados à força de preensão, e podem ser utilizados, juntamente com outros fatores, para estimar a força de um indivíduo. Imrhan e Sundararajan (1992) encontraram algumas correlações entre variáveis antropométricas e a força de puxar (tração) com preensão digital pulpo-lateral (a tração com outras preensões não apresentaram essa correlação). Imrhan e Loo (1989) relatam uma correlação entre o comprimento da mão e a força de preensão digital, mas apenas em crianças.

2.4 LATERALIDADE

A lateralidade, isto é, a assimetria entre os hemisférios cerebrais do controle de certas funções, tem sido muito avaliada nas atividades manuais. Assim como a fala, controlada pelo hemisfério esquerdo, existe uma relação entre a preferência manual e a lateralidade cerebral (ANNETT, 1970; OLDFIELD, 1971).

A maioria dos estudos aponta que a mão dominante dos destros é mais forte em 6% a 14% que a não-dominante (PETERSEN et al., 1989; IMRHAN; LOO, 1989; CROSBY et al., 1994; IMRHAN; JENKINS, 1999; LINDAHL et al., 1994; O'DRISCOLL et al., 1992) enquanto que para os canhotos, a mão dominante é igualmente ou apenas ligeiramente mais forte (1-2%) que a mão não-dominante (CROSBY et al., 1994; PETERSEN et al., 1989; SCHMAUDER et al., 1992).

Segundo Hanten et al. (1999), as razões que levam os canhotos a apresentarem pouca diferença entre as mãos dominante e não-dominante não são fáceis de serem compreendidas, mas podem ser resultantes do condicionamento do indivíduo canhoto em utilizar sua mão não-dominante para a realização de inúmeras atividades da vida diária, ou devido a uma maior simetria na organização dos hemisférios cerebrais em comparação com a grande lateralização dos indivíduos destros.

3 FATORES BIOMECÂNICOS E DA TAREFA

A localização e o tamanho dos objetos podem alterar a postura do punho e dos dedos, modificando a posição e comprimento da musculatura em relação às articulações dos membros superiores e alterando a capacidade de geração das forças manuais (SHIH; OU, 2005; ROMAN-LIU; TOKARSKI, 2005; RICHARDS, 1997; DEMPSEY; AYOUB, 1996). Assim, a seguir foram organizadas as principais posturas avaliadas na literatura indicando como a ação biomecânica é afetada.

3.1 POSTURA

Os desvios de punho (Figura 3) causam compressão dos tendões flexores dos dedos contra as paredes do túnel do carpo e outras estruturas internas; quando aliadas a ações repetitivas, estas posturas podem levar ao surgimento de DORT, como a Síndrome do Túnel do Carpo (IMRHAN, 1991; ARMSTRONG; CHAFFIN, 1990). Por esses motivos, a influência de posições não neutras do punho sobre a força de preensão tem sido bastante estudada.

Com relação a essas posturas, a posição neutra parece ser a mais vantajosa e a flexão do punho apresenta-se como a mais prejudicial à aplicação de forças (SHIH; OU, 2005; KRAFT; DETELS, 1972). Os desvios radial e ulnar não apresentam grandes diferenças entre si, assumindo, juntamente com o movimento de extensão, uma posição intermediária entre as anteriores (IMRHAN, 1991; LAMOREAUX; HOFFER; 1995; DEMPSEY; AYOUB, 1996). Parece haver também uma relação direta entre a intensidade do desvio e a redução da força (KATTEL et al., 1992). O'Driscoll et al. (1992), no entanto, afirmam que naturalmente são realizadas posturas com extensão e desvio ulnar em ações em que se aplicam força e que essas posturas livres apresentam maiores forças que posturas pré-estabelecidas.

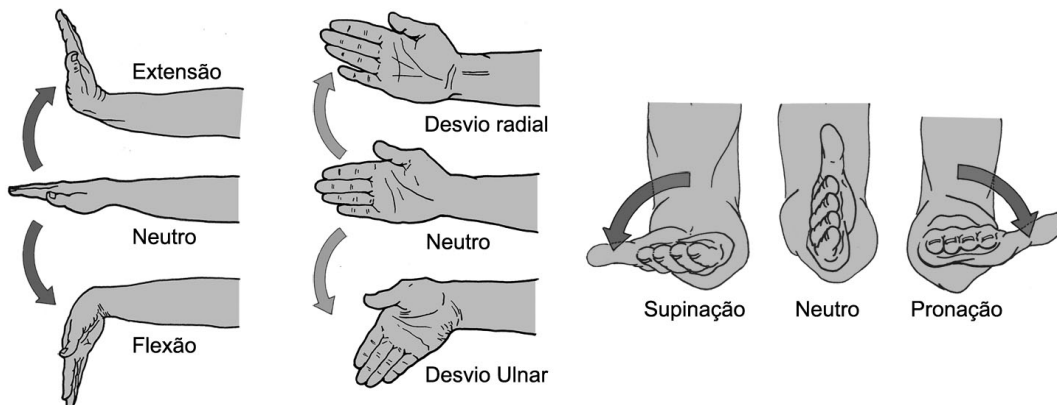


Figura 3. Desvios de punho (flexo-extensão e radio-ulnar) e desvios de antebraço (prono-supinação).
Fonte: Adaptado de Kapandji (1987).

Quanto à posição do cotovelo, alguns autores obtiveram maior força com o cotovelo totalmente estendido do que com ele flexionado, em diversas posições (BALOGUN et al., 1991; KUZALA; VARGO, 1992; SU et al., 1994; KIM; KIM, 2000). Entretanto, Mathiowetz et al. (1985b) obtiveram maiores valores de força com o cotovelo em 90° de flexão do que totalmente estendido. Posições do ombro também foram avaliadas (Figura 4). Su et al. (1994) investigaram três diferentes ângulos de flexão do ombro: 0°, 90° e 180° e observaram que a postura que gerou maior força foi com o ombro em 180° de flexão (braço esticado para cima). Contrário a este estudo, Imrhan e Jenkins (1999), medindo a força manual em três ângulos de flexão do ombro (30°, 90° e 130°), obtiveram maiores índices de força na posição mais inferior (30°), decaindo conforme se aumentava o ângulo de flexão do ombro. Kattel et al. (1996) avaliaram as posições de abdução do ombro, sendo obtidas maiores forças com o ombro em 0° de abdução do que em 20°.

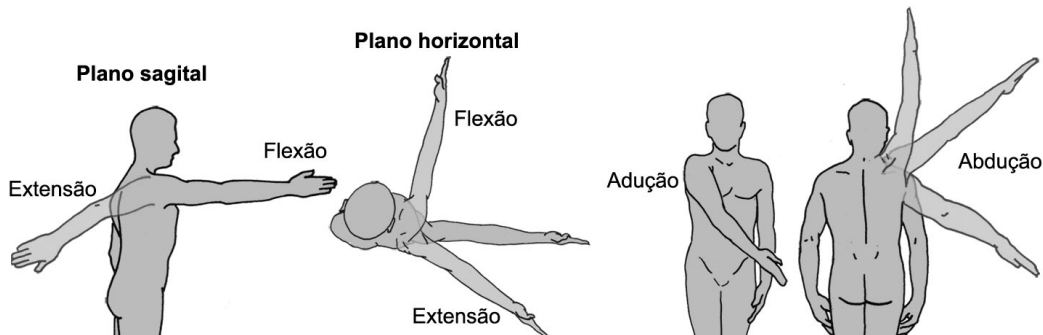


Figura 4. Movimentos mais comuns do ombro.
Fonte: Adaptadas de Kapandji (1987).

Teraoka (1979) e Balogun et al. (1991) observaram que os sujeitos realizam mais força na postura em pé do que na sentada. Entretanto, Catovic et al. (1989) e Catovic et al. (1991) não observaram diferenças entre essas duas posturas. Teraoka (1979) também encontrou maiores forças com a postura sentada em comparação à deitada, entretanto, Richards (1997) não observou essa diferença em seu estudo.

Alguns autores avaliaram as forças manuais com os sujeitos em posturas pré-definidas, combinando posições em pé, sentada, ajoelhada e deitada. Mital (1986) avaliou o torque realizado com ferramentas manuais em 21 diferentes posicionamentos corporais e afirma que o torque manual somente foi reduzido em posturas extremas. Kim e Kim (2000) avaliaram o torque manual em 15 diferentes posicionamentos corporais e observaram que, em geral, a ferramenta posicionada na altura do olho proporcionou os melhores resultados, enquanto que acima da cabeça o torque sofreu

as maiores reduções.

3.2 TIPO DE PREENSÃO

O tipo de preensão influencia muito a aplicação de força por parte do indivíduo, devido às diferentes configurações assumidas pelos ossos, tendões, músculos e ligamentos. A preensão palmar normalmente estudada é a preensão palmar plena, e esta é significativamente mais forte que as preensões digitais (KRAFT; DETELS, 1972; LAMOREAUX; HOFFER, 1995; MATHIOWETZ et al., 1985a; MATHIOWETZ et al., 1986).

Em relação à diferença de força, as preensões podem ser ordenadas da seguinte maneira (da mais forte para a mais fraca): preensão pulpo-lateral, preensão tridigital, preensão bidigital polegar/indicador (terminal e subterminal) e preensão bidigital polegar/médio (DEMPSEY; AYOUB, 1996; IMRHAN, 1991; ARAÚJO et al., 2002). Entretanto, alguns autores propõem uma inversão nessa ordem entre as preensões tridigital e pulpo-lateral (AGER et al., 1984; IMRHAN; JENKINS, 1999; IMRHAN; RAHMAN, 1995; MATHIOWETZ et al., 1985a).

3.3 FORÇA DOS DEDOS

Fransson e Winkel (1991), Talsania e Kozin (1998), Kong e Lowe (2005a, 2005b) e Kinoshita et al. (1996) avaliaram a contribuição de cada dedo para a geração de forças manuais. De forma geral, o dedo que mais contribui para a força total é o dedo médio (33,6 - 35,5%), seguido pelo anelar (25,4 - 26,5%), indicador (21,2 - 28,0%) e mínimo (11,0 - 18,1%). Kong e Lowe (2005b) também observaram que a força dos dedos é mais concentrada na falange distal (35,9%), seguida da medial (22,9%), proximal (21,0%) e metacarpal (20,2%).

3.4 TIPO DE MOVIMENTO DOS MEMBROS SUPERIORES

Muitas atividades manuais exigem movimentos de torção dos membros superiores, gerando ações de torque (ver Figura 2). Esses diferentes movimentos têm influência na força exercida e foram investigados por inúmeros autores. Adams e Peterson (1988) e Swain et al. (1970) avaliaram diversas ações mecânicas relacionadas ao torque manual e verificaram que o movimento de flexo-extensão gera forças superiores ao de prono-supinação. Imrhan e Jenkins (1999) constataram que o torque com o movimento de extensão foi em média 18% maior que com o movimento de flexão. O'Sullivan e Gallwey afirmam que o movimento de supinação é 20% mais forte que o de pronação, mas Adams e Peterson (1988) não identificaram essa diferença.

3.5 FADIGA

Sabe-se que a atividade muscular contínua gera fadiga e desconforto, especialmente sob solicitações intensas. As pesquisas que avaliaram essa relação geralmente apresentam duas abordagens distintas: contrações mantidas por determinado tempo e contrações repetidas. Nicolay e Walker (2005) avaliaram a força em 10 repetições e em contração mantida por 30s, sendo que, na atividade repetitiva, a maioria dos sujeitos apresentou uma queda significativa na força obtida nas últimas três repetições em comparação com as primeiras três repetições, e na contração mantida por

30s, foi observada uma perda média de 39% em relação à força inicial.

Montazer e Thomas (1992) investigaram a perda de força decorrente de 200 contrações musculares consecutivas em FPP, e observaram uma redução mais acentuada (40%) nas primeiras 100 medições, e uma queda mais suave (10%) nas demais 100 medições. Após a 30ª e 40ª medições surgiram reclamações de rigidez muscular e dores nas mãos. Nwuga (1975) avaliou o tempo que o indivíduo leva para fatigar-se, denominando essa variável de índice de resistência à fadiga. Observaram também que quanto maior a força aplicada, mais rápido o músculo se fatiga.

3.7 USO DE LUVAS

As luvas são amplamente utilizadas no ambiente industrial em operações manuais, com o objetivo principal de proteger as mãos de possíveis lesões. Shih e Wang (1996, 1997) observaram que as luvas aumentaram o torque aplicado em relação às mãos nuas, e as luvas mais grossas foram mais eficientes na geração de força que as mais finas.

Em contrapartida, Swain et al. (1970) e Tsaousidis e Freivalds (1998) não observaram a mesma eficiência em seus estudos com luvas de couro. Entretanto, em situações onde possa haver desconforto ou dor causados por superfícies cortantes ou pontiagudas, o uso de luvas é recomendado e pode resultar em aumento de força manual (TSAOUSIDIS; FREIVALDS, 1998).

4. FATORES DO OBJETO

4.1 TAMANHO DO OBJETO

Uma das variáveis que mais fortemente influencia as forças manuais é o tamanho do objeto que está sendo manipulado. Esta variável está diretamente relacionada com o tipo de preensão e o tipo de atividade desempenhada, assim, a análise do tamanho do objeto será subdividida de acordo com a ação efetuada.

O tamanho da abertura da preensão em FPP foi amplamente investigado com o dinamômetro Jamar. As maiores forças foram obtidas com a segunda e a terceira posições (aproximadamente 47 e 60 mm, respectivamente) (HÄRKÖNEN et al., 1993; O'DRISCOLL et al., 1992; CROSBY et al., 1994; MOREIRA et al., 2003 apud VIDRICH FILHO et al., 2005). Na FPP também foram investigadas outras interfaces, em especial as pegas cilíndricas. Nessas pegas, os diâmetros que proporcionaram maiores forças foram: 38 e 51 mm (EDGREN et al., 2004), 41,4 e 50,9 mm (BLACKWELL et al., 1999) e 50 mm (PEEBLES; NORRIS, 2003). Em resumo, para as pegas circulares, o diâmetro de 50 mm parece ser o que propicia a realização de mais força.

O tamanho do objeto a ser manipulado também foi investigado nas forças de preensão digital (FPD). Imrhan e Rahman (1995) analisaram a influência de pegas de 11 diferentes tamanhos na FPD e notaram que, para as preensões bidigital e tridigital, a altura que apresentou os maiores resultados foi de 44 mm. A preensão pulpo-lateral foi a mais prejudicada pelo aumento da pega, apresentando maiores valores com a menor abertura (20 mm). Dempsey e Ayoub (1996) avaliaram 4 diferentes alturas de pega (10, 30, 50 e 70 mm) na FPD, e observaram que a pega de 50 mm apresentou a maior força em todas as preensões digitais investigadas. Pode-se concluir que os resultados deste estudo corroboram o anterior no que se refere às preensões tridigital e bidigital. Entretanto alguns estudos discordam desses resultados. Shivers et al. (2002) afirmam que a FPD tende a crescer conforme aumenta-se a abertura da preensão. Shih e Ou (2005) obtiveram maiores resultados de força na FPD com a preensão tridigital com uma pega de 80 mm, decaindo em pegas

menores. Por outro lado, Heffernan e Freivalds (2000), medindo a FPD em preensão pentadigial relatam uma tendência de redução da força conforme se aumentava o tamanho do objeto. Esses resultados divergentes indicam ainda uma lacuna de conhecimento sobre a influência do tamanho do objeto nas FPD, evidenciando a necessidade de mais estudos na área.

Estudando a tração manual, Peebles e Norris (2003) avaliaram pegas de três alturas (40, 20 e 1 mm) sendo manipuladas em preensão digital, e a pega de 40 mm possibilitou as maiores forças de tração. Imrhan e Sundararajan (1992) investigaram a tração com tiras de tecido de 25 mm de largura e observaram que a tira menor (65 mm de comprimento) gerou significativamente menos força que a tira mais comprida (tamanho não mencionado).

O torque manual também foi avaliado em inúmeras interfaces simulando produtos e tarefas cotidianas. Crawford et al. (2002) avaliaram o torque na abertura de tampas de frascos de 12 diferentes tamanhos (diâmetros de 20, 50 e 80 mm combinados com alturas de 10, 20 e 30 mm). Os autores obtiveram maior força nas tampas maiores, tanto para o diâmetro quanto para a altura.

Alguns estudos avaliaram o torque necessário para o acionamento de conectores (botões) circulares, em movimento de prono-supinação (ver figura 2 F). Adams e Peterson (1988) avaliaram conectores circulares de três tamanhos (23, 38 e 51 mm), sendo que o maior tamanho (51 mm) apresentou significativamente mais força. Swain et al. (1970) investigaram conectores menores (10, 12,7 e 19 mm), e também relataram maiores resultados de força no conector maior.

Shih e Wang (1997) avaliaram o torque aplicado em desvios ulnar/radial em 5 válvulas de diversos diâmetros (55 a 120 mm), e notaram que o gênero masculino realizou maiores toques com a maior pega (120 mm) e o gênero feminino com a segunda maior (95 mm).

O torque manual também foi avaliado em barras circulares com movimentos de flexo-extensão do punho (figura 2 D). Pheasant e O'Neill (1975) analisaram 7 diferentes diâmetros (10 a 70 mm) e observaram que a pega de 50 mm apresentou o maior resultado de torque e a maior área de contato com a mão. Kong e Lowe (2005a, 2005b) avaliaram cinco cilindros de diâmetros variáveis (25, 30, 35, 40, 45 e 50 mm) e observaram que a maior força e a maior eficiência (maior torque por menor esforço muscular) foram obtidas na pega de 50 mm, em concordância com estudo anterior. Entretanto, Shih e Wang (1996) avaliaram pegas de 6 diferentes diâmetros (25,4; 31,8; 38,1; 44,5; 50,8; 57,2; 63,5 mm) e obtiveram maior torque na pega de 25,4 mm.

4.2 FORMA E FUNÇÃO DO OBJETO

Além da dimensão, a forma dos objetos tem grande influência nas forças manuais, pois implica em alterações no tipo de preensão, na ação executada e na posição das articulações dos membros superiores. Shih e Wang (1996) avaliaram 4 diferentes formatos de pega (circular, hexagonal, quadrangular e triangular) e observaram que as pegas mais angulosas possibilitaram maiores resultados de torque que as menos angulosas (em ordem: triangular, quadrangular, hexagonal e circular). Crawford et al. (2002), avaliando tampas de frascos, também concluíram que a forma quadrangular gerou mais força que a circular. Cochran e Riley (1986) avaliaram o torque (flexo-extensão) em nove formatos de pegas (figura 5), e acrescentam que a proporção entre a altura e o comprimento altera a força manual, de forma que quanto maior a diferença entre largura e altura, maiores os resultados de força. Os autores atribuem esses valores ao maior braço de alavanca disponível nas pegas retangulares.

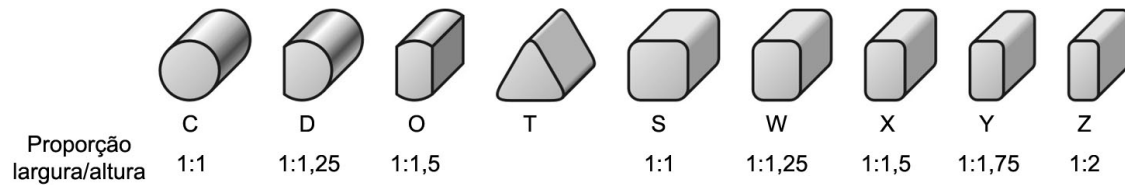


Figura 5. Formatos de pega avaliados.
Fonte: Cochran e Riley (1986).

Fothergill et al. (1992) avaliaram 4 diferentes tipos de pega para a tração manual e indicou as preensões que os sujeitos mais comumente empregaram (figura 6). A interface mão-puxador foi, segundo os autores, um dos fatores determinantes da redução de força, pois os puxadores que propiciaram uma maior superfície de contato (A e D) apresentaram maiores resultados de força. Além disso, o tamanho e formato das pegas induziram o tipo de preensão realizada, sendo empregadas preensões digitais nos puxadores B e C.

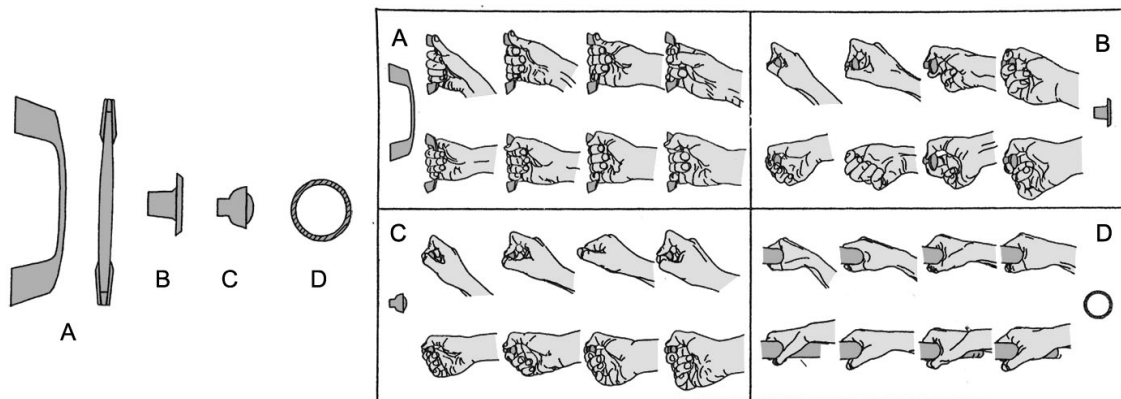


Figura 6. Puxadores utilizados para avaliação de tração manual.
Fonte: Fothergill et al. (1992).

Muitos estudos preocuparam-se em avaliar ferramentas manuais utilizadas para a realização de forças. Kim e Kim (2000) compararam o torque gerado em 5 diferentes ferramentas e equipamentos comumente empregados na indústria. Organizados em ordem decrescente de força gerada, os equipamentos analisados foram: volante de direção, chave-inglesa, pega cilíndrica, botão giratório e chave de fenda.

Fransson e Winkel (1991) estudaram a força aplicada em alicates sob diversas aberturas, e observaram que o distanciamento de 50 mm foi o que proporcionou maiores forças. Pheasant e O'Neill (1975) avaliaram cabos de diversas chaves de fenda quanto ao formato e à força gerada e não observaram diferenças significativas, tanto estatísticas quanto práticas, entre as pegas analisadas. Mital (1986) e Mital e Sanghavi (1986) analisaram diversas chaves de fenda e chaves inglesas e chegaram a duas conclusões: as chaves inglesas geram significativamente mais força que as chaves de fenda e o comprimento do cabo alterou a geração de força nas chaves de fenda (quanto maior o cabo maior a força), mas não nas chaves inglesas.

4.3 POSIÇÃO E ORIENTAÇÃO DO OBJETO

O posicionamento e a orientação do objeto podem contribuir para a ocorrência de restrições posturais ou alterações no comprimento da musculatura envolvida na preensão, podendo resultar em reduções na capacidade de geração de força. Por estas razões, muitos estudos investigaram diversas

posições e orientações de pegas e ferramentas.

Posicionamento: Fothergill et al. (1992) observaram que a altura da pega em relação ao solo influenciou a geração de força, sendo obtidas maiores forças com a pega a 1 m do chão do que a 1,75m. Shih e Wang (1997) obtiveram maiores forças com a ferramenta posicionada na altura do ombro e os menores valores com a ferramenta acima da cabeça dos sujeitos. Adams e Peterson (1988) avaliaram o torque em conectores posicionados em 60% e 85% do alcance máximo do sujeito, mas não encontraram nenhuma relação desta posição com o resultado de torque. Mital e Sanghavi (1986), entretanto, analisando três distâncias de alcances horizontais (33, 58,4 e 71,1 cm), observaram que quanto mais próxima estava a pega do sujeito, maiores eram as forças geradas.

Orientação: Mital e Kumar (1998a) comentam que é exercido um torque aproximadamente 70% maior quando chaves inglesas estão na posição horizontal que na vertical. Kong e Lowe (2005a) comprovaram essa superioridade da posição horizontal, mas relatam que a diferença é de 33,4%. Entretanto, Mital (1986) não observou diferença significativa entre os posicionamentos horizontal e vertical. Além dessas posições, Imrhan e Sundararajan (1992) compararam a posição horizontal com uma orientação oblíqua (aproximadamente 45°), mas não observaram diferenças significativas.

4.4 ACABAMENTO SUPERFICIAL

Superfícies rugosas favorecem a aplicação de forças, pois permitem um maior atrito na interface mão-objeto (PHEASANT; O'NEILL, 1975). Imrhan e Jenkins (1999) e Shih e Wang (1997) observaram, em seus estudos, que a rugosidade aumentou a força exercida em 15% e 17%, respectivamente.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A grande quantidade de estudos desenvolvidos a respeito de forças manuais aponta para a enorme relevância desta atividade para diversas áreas do conhecimento, como fisioterapia, medicina, engenharia, ergonomia e design. Embora algumas conclusões já possam ser estabelecidas, muitas variáveis ainda apresentam resultados discordantes que dificultam a geração de parâmetros e diretrizes para o design de produtos e precisam, portanto, ser analisadas com maior profundidade.

Os fatores individuais, apesar de indiretamente relacionados com o projeto de produtos, são extremamente relevantes para o designer, pois indicam características, capacidades e limitações do público usuário de determinado produto. Um exemplo desta situação são os produtos produzidos para mulheres ou para idosos, nos quais a exigência de força deve ser menor que produtos destinados a homens adultos, por exemplo. Ilustrando estes argumentos, Voorbij e Steenbekkers (2002), em uma avaliação simulada de abertura de frascos de vidro, recomendaram que a exigência de força nessas embalagens não poderia ser superior a 2 Nm. Com esse pré-requisito, 97,6% dos indivíduos com mais de 50 anos seria plenamente capaz de abrir estas embalagens.

Dentre os fatores biomecânicos e da tarefa, destacam-se as posturas com desvios de punho, especialmente a flexão, como as mais prejudiciais para a realização de forças; devem também ser evitadas posturas extremas e com restrição de espaço. Ao pensar o projeto de pegas e manejos que exijam aplicações de grandes forças, deve-se priorizar as preensões palmares em detrimento das digitais e providenciar maior espaço para que mais dedos sejam envolvidos na preensão. Nas atividades que envolvam a execução de torque manual, sempre que possível, deve-se dar preferência aos movimentos de flexo-extensão aos de prono-supinação, por gerarem maiores forças.

De todos os fatores do objeto relatados anteriormente, apenas alguns podem gerar conclusões com segurança. As pegas cujos formatos possuem angulosidades ou um maior braço de alavanca, ou seja, apresentam maior diferença na proporção entre a largura e altura (mais distantes do cilindro), podem gerar maiores forças manuais. A presença de textura ou ranhuras também pode aumentar a execução de forças manuais. Desta forma, em ações de torção do antebraço (torque) que exigem maior demanda de forças, devem ser evitados formatos cilíndricos e acabamento muito liso, não se esquecendo também que formas pontiagudas podem causar desconforto na manipulação. Para a tração, os puxadores devem proporcionar uma área de contato suficiente para facilitar a preensão.

O tamanho do objeto, conforme visto anteriormente, pode alterar significativamente a força manual, considerando a ação realizada e as variações antropométricas dos sujeitos. Blackwell et al. (1999) explicam que essa variável pode estar condicionada ao comprimento da musculatura envolvida, sendo que a melhor condição para aplicação de forças seria quando o músculo está próximo da sua posição de repouso, ao passo que condições adversas podem ocorrer quando o músculo está encurtado (objetos muito pequenos) ou alongado (objetos muito grandes). Como pode ser observado pelos estudos apresentados, o diâmetro de aproximadamente 50 mm em pegas cilíndricas (preensões palmares), independentemente da ação realizada (força de preensão, torque, tração), parece ser o mais adequado. Todavia, as pesquisas que investigaram o tamanho do objeto para outras preensões ou outros formatos ainda apresentam muitas incertezas e resultados divergentes.

Quanto à posição e orientação do objeto, deve-se procurar, ao projetar produtos e tarefas, que as pegas ou manejos (locais de acionamento manual) estejam localizados aproximadamente na altura dos ombros dos indivíduos e que o sentido de aplicação seja preferencialmente horizontal.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido com apoio FAPESP - Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (Processos 05/58600-7 e 05/59941-2).

REFERÊNCIAS

- ADAMS, S. K.; PETERSON, P. J. Maximum voluntary hand grip torque for circular electrical connectors. **Human Factors**, 30 (6): 733-745, 1988.
- AGER, C. L.; OLIVETT, B. L.; JOHNSON, C. L. Grasp and pinch strength in children 5 to 12 years old. **The American Journal of Occupational Therapy**, 38 (2): 107-113, 1984.
- AGHAZADEH, F.; MITAL, A. Injuries due to hand tools: results of a questionnaire. **Applied Ergonomics**, 18: 273-278, 1987.
- ANNETT, M. A classification of hand preference by association analysis. **The British Journal of Psychology**, 61 (3): 303-321, 1970.
- ARAÚJO, M. P.; ARAÚJO, P. M. P.; CAPORRINO, F. A.; FALOPPA, F.; ALBERTONI, W. M. Estudo populacional das forças das pinças polpa-a-polpa, trípole e lateral. **Revista Brasileira de Ortopedia**, 37 (11/12): 496-504, 2002.
- ARMSTRONG, C. A.; CHAFFIN, D. B. Carpal tunnel syndrome and selected personal attributes. **Journal of Occupational Therapy**, 21 (7): 481-486, 1979.
- BALOGUN, J. A.; AKOMOFALÉ, C. T.; AMUSA, L. O. Grip strength: effects of testing posture and elbow position. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, 72: 280-283, 1991.

- BLACKWELL, J. R.; KORNATZ, K. W.; HEATH, E. M. Effect of grip span on maximal grip force and fatigue of flexor digitorum superficialis. **Applied Ergonomics**, 30: 401-405, 1999.
- CAPORRINO, F. A.; FALOPPA, F.; SANTOS, J. B. G.; RÉSSIO, C.; SOARES, F. H. C.; NAKACHIMA, L. R.; SEGRE, N. G. Estudo populacional da força de preensão palmar com dinamômetro Jamar. **Revista Brasileira de Ortopedia**, 33 (2): 150-154, 1998.
- CATOVIC, A.; KOSOVEL, Z.; CATOVIC, E.; MUFTIC, O. A comparative investigation of the influence of certain arm positions on hand pinch grips in the standing and sitting positions of dentists. **Applied Ergonomics**, 20 (2): 109-114, 1989.
- CATOVIC, E.; CATOVIC, A.; KRALJEVIC, K.; MUFTIC, O. The influence of arm position on the pinch grip strength of female dentists in standing and sitting positions. **Applied Ergonomics**, 22 (3): 163-166, 1991.
- CHAFFIN, D. B.; ANDERSON, G. B. J. **Occupational Biomechanics**, 2nd Ed., New York: John Wiley & Sons, 1990.
- COCHRAN, D. J.; RILEY, M. W. The effects of handle shape and size on exerted forces. **Human Factors**, 28 (3): 253-265, 1986.
- CRAWFORD, J. O.; WANIBE, E.; LAXMAN, N. The interaction between lid diameter, height and shape on wrist torque exertion in younger and older adults. **Ergonomics**, 45(13): 922-923, 2002.
- CROSBY, C. A.; WEHBÉ, M. A.; MAWR, B. Hand strength: normative values. **The Journal of Hand Surgery**, 19A (4): 665-670, 1994.
- DEMPSEY, P. G.; AYOUB, M. M. The influence of gender, grasp type, pinch width and wrist position on sustained pinch strength. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 17: 259-273, 1996.
- EDGREN, C. S.; RADWIN, R. G.; IRWIN, C. B. Grip force vectors for varying handle diameters and hand sizes. **Human Factors**, 46 (2): 244-251, 2004.
- FOTHERGILL, D. M.; GRIEVE, D. W.; PHEASANT, S. T. The influence of some handle designs and handle height on the strength of the horizontal pulling action. **Ergonomics**, 35(2): 203-212, 1992.
- FRANSSON, C.; WINKEL, J. Hand Strength: the influence of grip span and grip type. **Ergonomics**, 34 (7): 881-892, 1991.
- FULLWOOD, D. Australian norms for hand and finger strength of boys and girls aged 5-11 years. **Australian Occupational Therapy Journal**, 33 (1): 26-36, 1986.
- HANTEN, W. P.; CHEN, W.; AUSTIN, A. A.; BROOKS, R. E.; CARTER, H. C.; LAW, C. A.; MORGAN, M. K. SANDERS, D. J.; SWAN, C. A.; VANDERSLICE, A. L. Maximum grip strength in normal subjects from 20 to 64 years of age. **Journal of Hand Therapy**, 12: 193-200, 1999.
- HÄRKÖNEN, R.; PIIRTOMAA, M.; ALARANTA, H. Grip strength and hand position of the dynamometer in 204 Finnish adults. **Journal of Hand Surgery** (British and European volume), 18B (1): 129-132, 1993.
- HEFFERNAN, C.; FREIVALDS, A. Optimum pinch grips in the handling of dies. **Applied Ergonomics**, 31: 409-414, 2000.
- IMRHAN, S. N. The influence of grip width on two-handed grip strength in females. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 25: 187-194, 1999.
- IMRHAN, S. N. The influence of wrist position on different types of pinch strength. **Applied Ergonomics**, 22 (6): 379-384, 1991.
- IMRHAN, S. N. Two-handed static grip strengths in males: the influence of grip width. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 31: 303-311, 2003.
- IMRHAN, S. N.; JENKINS, G. D. Flexion-extension hand torque strengths: applications in maintenance tasks. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 23: 359-371, 1999.
- IMRHAN, S. N.; LOO, C. H. Trends in finger pinch strength in children, adults, and the elderly. **Human Factors**, 31 (6): 689-701, 1989.

- IMRHAN, S. N.; RAHMAN, R. The effect of pinch width on pinch strengths of adult males using realistic pinch-handle coupling. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 16: 123-134, 1995.
- IMRHAN, S. N.; SUNDARARAJAN, K. An investigation of finger pull strengths. **Ergonomics**, 35 (3): 289-299, 1992.
- KAPANDJI, I. A. **Fisiologia Articular: Esquemas comentados de mecânica humana**. Volume 1. São Paulo: Editora Manole, 1987.
- KATTEL, B. P.; FREDERICKS, T. K.; FERNANDEZ, J. E.; LEE, D. C. The effect of upper-extremity posture on maximum grip strength. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 18: 423-429, 1996.
- KIM, C.; KIM, T. Maximum torque exertion capabilities of Korean at varying body postures with common hand tools. In: **International Ergonomics Association**, 14., 2000, San Diego. Proceedings of the International Ergonomics Association. San Diego: IEA, 2000, 4p. 1 CD-ROM.
- KINOSHITA, H.; TOMOHIKO, M.; BANDOU, T. Grip posture and forces during holding cylindrical objects with circular grips. **Ergonomics**, 39 (9): 1163-1176, 1996.
- KONG, Y. K.; LOWE, B. D. Evaluation of handle diameters and orientations in a maximum torque task. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 35: 1073-1084, 2005a.
- KONG, Y. K.; LOWE, B. D. Optimal cylindrical handle diameter for grip force tasks. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 35: 495-507, 2005b.
- KOZIN, S. H.; PORTER, S.; CLARK, P.; THODER, J. The contribution of the intrinsic muscles to grip and pinch strength. **The Journal of Hand Surgery**, 24A (1): 64-72, 1999.
- KRAFT, G. H.; DETELS, P. E. Position of function of the wrist. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, 52: 272-275, 1972.
- KUZALA, E. A.; VARGO, M. C. The relationship between elbow position and grip strength. **The American Journal of Occupational Therapy**, 46 (6): 509-512, 1992.
- LAMOREAUX, L.; HOFFER, M. M. The effect of wrist deviation on grip and pinch strength. **Clinical Orthopaedics and Related Research**, 314, 152-155, 1995.
- LINDAHL, O. A.; NYSTRÖM; BJERLE, P.; BOSTRÖM, A. Grip strength of the human hand - measurements on normal subjects with a new hand strength analysis system (Hastras). **Journal of Medical Engineering & Technology**, 18 (3): 101-103, 1994.
- MATHIOWETZ, V.; KASHMAN, N.; VOLLAND, G.; WEBER, K.; DOWE, M. Grip and pinch strength: normative data for adults. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, 66: 69-74, 1985a.
- MATHIOWETZ, V.; RENNELLS, C.; DONAHOC, L. Effect of elbow position on grip and key pinch strength. **The Journal of Hand Surgery**, 10A (5): 694-697, 1985b.
- MATHIOWETZ, V.; WIEMER, D. M.; FEDERMAN, S. M. Grip and pinch strength: norms for 6 to 19-year-olds. **The American Journal of Occupational Therapy**, 40 (10): 705-711, 1986.
- McGARVEY, S. R.; MORREY, B. F.; ASKEW, L. J.; AN, K. Reliability of isometric strength testing. **Clinical Orthopaedics and Related Research**, 185: 301-305, 1984.
- MITAL, A. Effect of body posture and common hand tools on peak torque exertion capabilities. **Applied Ergonomics**, 17 (2): 87-96, 1986.
- MITAL, A.; KUMAR, S. Human muscle strength definitions, measurement, and usage: Part I – Guidelines for the practitioner. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 22: 101-121, 1998a.
- MITAL, A.; KUMAR, S. Human muscle strength definitions, measurement, and usage: Part II – The scientific basis (knowledge base) for the guide. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 22: 123-144, 1998b.
- MITAL, A.; SANGHAVI, N. Comparison of maximum volitional torque exertion capabilities of males and females using common hand tools. **Human Factors**, 28 (3): 283-294, 1986.
- MONTAZER, M. A.; THOMAS, J. G. **Grip strength as a function of 200 repetitive trials. Perceptual and Motor Skills**, 75: 1320-1322, 1992.

- MONTOYE, H. J.; LAMPHIYER, D. E. Grip and arm strength in males and females, age 10 to 69. **The Research Quarterly**, 48 (1): 107-120, 1977.
- MOREIRA, D.; GODOY, J. R. P.; KEYSER, A.; VELASCO, T. B. R. M. Abordagem anatômico-cinesiológica da preensão palmar e estudo comparativo entre os níveis 2 e 3 da manopla no dinamômetro Jamar. **Fisioterapia em Movimento**, 16 (4): 23-28, 2003.
- NAPIER, J. R. The prehensile movements of the human hand. **The Journal of Bone and Joint Surgery**, 38B (4): 902-913, 1956.
- NICOLAY, C. W.; WALKER, A. L. Grip strength and endurance: Influences of anthropometric variation, hand dominance, and gender. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 35: 605-618, 2005.
- NWUGA, V. C. Grip strength and grip endurance in physical therapy students. **Arch. Phys. Med. Rehabil.**, 56: 296-300, 1975.
- O'DRISCOLL, S. W.; HORII, E.; NESS, R.; RICHARDS, R. R.; AN, K. The relationship between wrist position, grasp size, and grip strength. **Journal of Hand Surgery**, 17A (1): 169-177, 1992.
- O'SULLIVAN, L. W.; GALLWEY, T. J. Upper-limb surface electro-myography at maximum supination and pronation torques: the effect of elbow and forearm angle. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, 12: 272-285, 2002.
- OLDFIELD, R. C. The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. **Neuropsychologia**, 9: 97-113, 1971.
- PEEBLES, L.; NORRIS, B. Filling 'gaps' in strength data for design. **Applied Ergonomics**, 34: 73-88, 2003.
- PEEBLES, L.; NORRIS, B. Strength data for designers. In: **International Ergonomics Association**, 14., 2000a, San Diego. Proceedings of the International Ergonomics Association. San Diego: IEA, 2000, 4p. 1 CD-ROM.
- PETERSEN, P.; PETRICK, M.; CONNOR, H.; CONKLIN, D. Grip strength and hand dominance: challenging the 10% Rule. **American Journal of Occupational Therapy**, 43 (7): 444-447, 1989.
- PHEASANT, S. **Bodyspace: Anthropometry, ergonomics and the design of work**. London: Taylor & Francis, 2nd Ed., 1996.
- PHEASANT, S.; O'NEILL, D. Performance in gripping and turning: a study in hand/handle effectiveness. **Applied Ergonomics**, 6 (4): 205-208, 1975.
- RICHARDS, L. G. Posture effects on grip strength. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, 78: 1154-1156, 1997.
- ROMAN-LIU, D.; TOKARSKI, T. Upper limb strength in relation to upper limb posture. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 35: 19-31, 2005.
- SANDERS, M. S.; McCORMICK, E. J. **Human factors in engineering and design**. New York: McGraw-Hill, 1993.
- SCHMAUDER, M.; ECKERT, R.; SCHINDHELM, R. Forces in the hand-arm system: Investigations of the problem of left-handedness. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 12 (3): 231-237, 1992.
- SHIH, Y. C.; OU, Y. C. Influences of span and wrist posture on peak chuck pinch strength and time needed to reach peak strength. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 35: 527-536, 2005.
- SHIH, Y. C.; WANG, M. J. J. Evaluating the effects of interface factors in the torque exertion capabilities of operating handwheels. **Applied Ergonomics**, 28 (5): 375-382, 1997.
- SHIH, Y. C.; WANG, M. J. J. Hand/tool interface effects on human torque capacity. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 18: 205-213, 1996.
- SHIVERS, C. L.; MIRKA, G. A.; KABER, D. B. Effect of grip on lateral pinch grip strength. **Human Factors**, 44 (4): 569-577, 2002.
- SU, C.; LIN, J.; CHIEN, T.; CHENG, K.; SUNG, Y. Grip strength in different positions of elbow and shoulder. **Arch. Phys. Med. Rehabil.**, 75: 812-815, 1994.

- SWAIN, A. D.; SHELTON, G. C.; RIGBY, L. V. Maximum torque for small knobs operated with and without gloves. **Ergonomics**, 13 (2): 201-208, 1970.
- TALSANIA, J. S.; KOZIN, S. H. Normal digital contribution to grip strength assessed by a computerized digital dynamometer. **Journal of Hand Surgery** (British and European Volume), 23B (2): 162-166, 1998.
- TERAOKA, T. Studies on the peculiarity of grip strength in relation to body position and aging. **Kobe Journal of Medical Science**, 25: 1-17, 1979.
- TSAOUSIDIS; N.; FREIVALDS, A. Effects of gloves on maximum force and the rate of force development in pinch, wrist flexion and grip. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 21: 353-360, 1998.
- VIDRICH FILHO, H.; SILVA, J. C. P.; GALBIATTI, J. A. Eficiência das forças de preensão palmar plena e pulpo-lateral dimensionadas com dinamômetro Jamar e o medidor de pinça B&L – uma revisão bibliográfica. **Estudos em Design**, 13 (1): 09-25, 2005.
- VOORBIJ, A. I. M.; STEENBEKKERS, L. P. A. The composition of a graph on the decline of total strength with age based on pushing, pulling, twisting and gripping force. **Applied Ergonomics**, 32: 287-292, 2001.
- VOORBIJ, A. I. M.; STEENBEKKERS, L. P. A. The twisting force of aged consumers when opening a jar. **Applied Ergonomics**, 33: 105-109, 2002.
- YOUNG, V. L.; PIN, P.; KRAEMER, B. A.; GOULD, R. B.; NEMERGUT, L.; PELLOWSKI, M. Fluctuation in grip and pinch strength among normal subjects. **The Journal of Hand Surgery**, 14A (1): 125-129, 1989.