

Uma síntese sobre o desenvolvimento de Equipamentos para Movimentação Passiva Contínua como contribuição a futuras pesquisas

Aline Marian Callegaro ^a (alinemc@producao.ufrgs.br); Carlos Fernando Jung ^a (carlosfernandojung@gmail.com); Carla Schwengber ten Caten ^a (tencaten@producao.ufrgs.br)

^aLaboratório de Otimização de Produtos e Processos (LOPP)/Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGE, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS – BRASIL

Resumo

Este artigo teve por finalidade analisar as patentes e pesquisas, realizadas a partir de 1978, que abordam o desenvolvimento de equipamentos para Movimentação Passiva Contínua (CPM) aplicados à reabilitação das articulações do cotovelo e do antebraço. Foi realizada uma síntese a partir da revisão de literatura como contribuição a futuras pesquisas para o desenvolvimento de novas tecnologias e produtos ergonômicos. Como resultados foi possível identificar que doze dos equipamentos desenvolvidos desempenham somente a função de CPM e, seis possuem, associada a esta função, a possibilidade de realizar também movimentos ativos. Apenas dois equipamentos permitem a realização de alongamentos musculares. O estudo mostra que a proporção e número de patentes registradas é superior ao número de trabalhos científicos publicados sobre o desenvolvimento de equipamentos de CPM para cotovelo e antebraço.

Palavras-chave: patentes; invenção; inovação; equipamentos para CPM; ergonomia.

1 Introdução

A inovação tecnológica surge a partir de uma demanda ou necessidade e constitui-se em um processo de desenvolvimento para a produção de um novo produto (TUSHMAN e NADLER, 1997).

A globalização da economia e a necessidade de produtos inovadores têm gerado a necessidade de serem formadas equipes de profissionais que integrem conhecimentos de diferentes áreas da ciência (BACK *et al.*, 2008). Corroborando Cayres *et al.* (2005) afirmam que o eficaz desenvolvimento de produtos aplicados ao tratamento de diversas patologias na área da saúde tem sido possível através de projetos multidisciplinares.

Um problema que tem gerado a necessidade de integrar profissionais da área de Fisioterapia e Engenharia de Produção, em especial aqueles que atuam com Ergonomia, é o desenvolvimento de novos equipamentos aplicados ao tratamento de reabilitação após procedimentos cirúrgicos artroscópicos para reparação de articulações e lesões de tecidos moles. O uso desses equipamentos, quando associados à reabilitação da articulação do cotovelo, tem por finalidade restaurar a amplitude de movimento articular total por meio de movimentos passivos do braço, sem carga e emprego de força (MASON e HOWARD, 2004).

Jensen (1999) afirma que, o movimento passivo é aquele produzido por uma força externa, o qual é realizado em uma articulação, parte do corpo ou tecido, partindo de uma completa imobilização para o movimento contínuo.

Salter e Field (1960) verificaram que após procedimentos cirúrgicos de articulações a imobilização não era benéfica, e que a imobilização com compressão realizada em estudos com coelhos causou necrose da cartilagem.

A partir disto, referem Souza e Aguiar (2004) que o conceito de CPM - Movimentação Passiva Contínua (*Continuous Passive Motion*) foi proposto por Salter (1970) resultante de uma série de investigações experimentais.

Os primeiros estudos da aplicação da CPM foram baseados em modelos experimentais aplicados em animais, onde foram investigados os efeitos biológicos sobre a cicatrização e regeneração dos tecidos articulares de coelhos (O'DISCROLL e GIORI, 2000). Posteriormente, os estudos estenderam-se a humanos (SALTER *et al.*, 1984). O primeiro registro de patente de equipamento de CPM foi obtido em (1978) para aplicações nas articulações do joelho e cotovelo (NICOLOSI e TURNER, 1978).

Laupattarakasem (1988) afirma que, ao longo do tempo o método de CPM tem sido um importante recurso utilizado para prevenção e recuperação da rigidez articular em humanos, em especial para a articulação do cotovelo. Corroborando, Mazzer (2001) diz que pode ser aplicado também nas contraturas em flexão após a liberação cirúrgica, rigidez pós-traumática decorrente de fraturas e luxações e auxiliar na resolução de edema do cotovelo durante o processo de cicatrização. Para Mândru (2005), o Método pode contribuir para estimular o sistema circulatório e manter a mobilidade da articulação.

Este artigo tem por finalidade analisar os estudos e patentes, realizados a partir de 1978, que abordam o desenvolvimento de equipamentos para Movimentação Passiva Contínua aplicados à reabilitação das articulações do cotovelo e do antebraço. O trabalho apresenta uma síntese a partir da revisão de literatura para contribuir com futuras pesquisas para o desenvolvimento de novas tecnologias e produtos ergonômicos. O artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta a revisão de literatura, a seção 3 aborda a discussão a partir da análise da revisão de literatura e a seção 4 traz as conclusões.

2 Revisão Teórica

2.1 Patentes de equipamentos aplicados na reabilitação do cotovelo

O primeiro equipamento de CPM foi desenvolvido para aumentar a ADM – Amplitude de Movimento das articulações do joelho e cotovelo (ver Figura 1). Este equipamento possui suportes onde são posicionados os segmentos corporais ligados à articulação a qual será aplicada a CPM. Os membros devem ser posicionados de forma que o eixo anatômico de movimento articular coincida com o eixo rotacional do equipamento. O equipamento deve ser ajustado a uma ADM inicial deve ser a uma ADM que não exceda a dor tolerável informada pelo paciente. A partir desta posição tem início a CPM em que se aumenta a ADM gradativamente (NICOLOSI e TURNER, 1978).

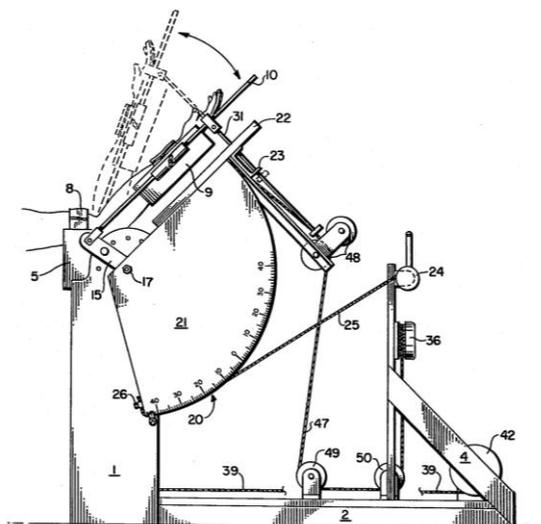


Figura 1. Equipamento proposto por Nicolosi e Turner (1978)

O segundo equipamento patenteado que possui função de CPM destina-se à realização de exercícios passivos pré-determinados do punho, cotovelo e tornozelo (ver Figura 2). É um equipamento portátil, desmontável, em que um motor aciona o sistema de funcionamento e o movimento é transmitido por engrenagens a um dos braços de suporte dos segmentos corporais. Ele se move em relação ao

segmento fixo que fornece suporte ao braço, antebraço ou perna, dependendo da articulação na qual está sendo utilizado o dispositivo (HAJIANPOUR, 1985).

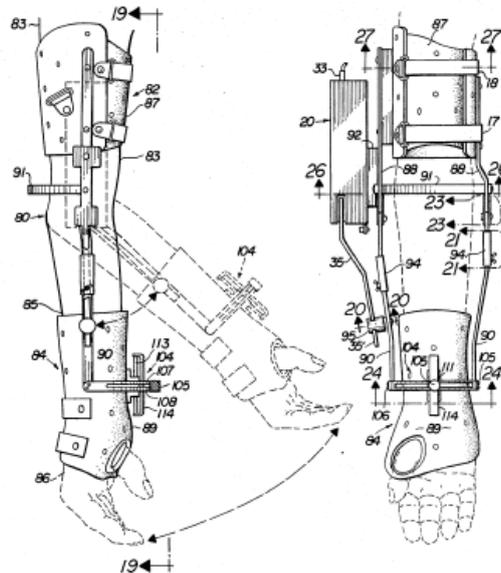


Figura 2. Equipamento proposto por Hajianpour (1985)

Kaiser *et al.* (1992) afirmam que a patente obtida aplicável ao cotovelo é baseada em um mecanismo construído com roldanas e um braço ajustável que é acionado por um motor (ver Figura 3). O invento pode ser utilizado em inúmeras articulações, sendo capaz de realizar flexão/extensão do joelho, tornozelo, quadril, cotovelo, punho ou semelhantes, sendo que uma pluralidade de conjuntos flexíveis são fornecidos para a interligação seletiva. Esta invenção possui controle de amplitude e velocidade, podendo auxiliar em uma cicatrização mais rápida e completa da articulação. Segundo este autor, o equipamento pode ser facilmente acionado e desacionado quando da necessidade de interrupção da sessão de exercícios passivos, e disponibilizar um auto-armazenamento da posição. O circuito de controle inclui um sistema para interrupção em casos de emergência e um sensor de parada do exercício de CPM em resposta à detecção de um defeito no funcionamento.

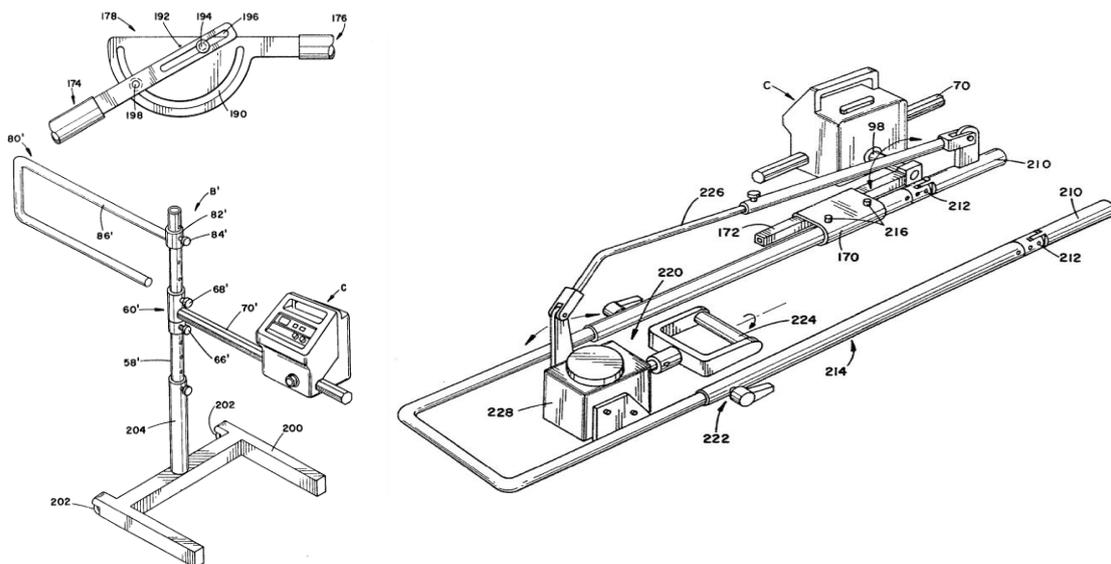


Figura 3. Equipamento proposto por Kaiser *et al.* (1992)

Posteriormente, Siegler *et al.* (1993) desenvolveram um dispositivo de CPM com capacidade de realizar um alinhamento anatômico compatível aos eixos de movimento das articulações, aplicável ao

tornozelo, punho, cotovelo, ombro, joelho e qualquer outra articulação do corpo humano. O mecanismo é formado por uma seção destinada ao suporte do primeiro segmento do corpo e uma seção para suporte do segundo segmento corporal articulável em relação à primeira. A invenção também pode ser utilizada para avaliar a carga-deslocamento e características de flexibilidade das articulações anatômicas de maneira quantitativa, o que contribui de forma importante para o manejo clínico das patologias comuns.

Singer e Trickey (1993) produziram um aparelho programável para articulações humanas ou artificiais que pode ser utilizado como órtese, prótese ou CPM no cotovelo, joelho, punho ou quadril. O sistema possibilita selecionar posições através de comandos e, permite pausar, podendo a pausa ser gravada em uma memória não volátil até que o equipamento seja desligado. Proporciona também a flexão/extensão controlada de articulações, com a finalidade de aumentar gradativamente a ADM. A incorporação de Fotosensores facilita a captação do movimento e pode fornecer um *feedback* da angulação possibilitando o controle da velocidade e a posição do dispositivo. A troca de mecanismo – posição de pausa e direção - pode ser comandada por voz, acionamento mecânico ou muscular.

O invento de Bonutti e Zitzmann (1995) é uma versão das órteses existentes, e inclui uma órtese para alongamento dos tecidos articulares e um sistema de CPM em que um motor controlado eletronicamente flexiona e estende articulações (ver Figura 4). Possui dois suportes articuláveis para os membros com seu eixo espaçado do eixo articular, e possibilita que o movimento dos suportes realize uma distração articular durante toda a ADM.

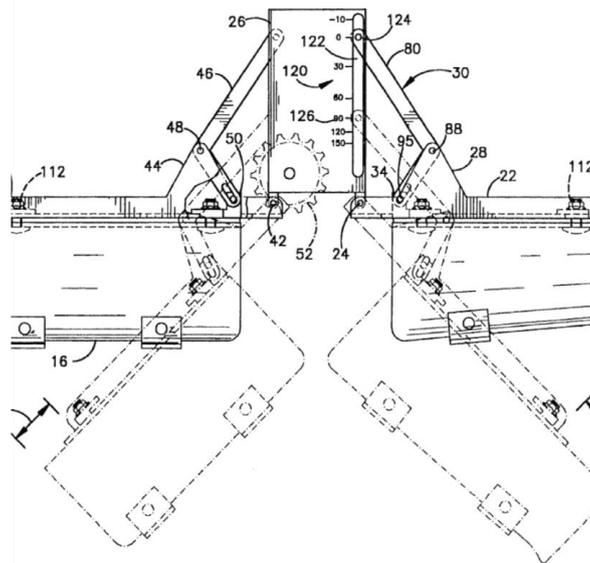


Figura 4. Equipamento proposto por Bonutti e Zitzmann (1995)

Zhang (2002) patenteou um equipamento com um diferencial baseado na portabilidade que pode movimentar a articulação e alongar a musculatura até seus limites de ADM com controle quantitativo do torque de resistência, assim como da velocidade. Todos estes dispositivos são configurados a partir de limites pré-determinados pelo operador. O dispositivo pode realizar medidas quantitativas do comprometimento em função da espasticidade ou contratura de pacientes. Os dados podem ser obtidos a partir das mudanças de velocidade, de modo variável em relação ao torque de resistência em toda a ADM que corresponde diretamente à espasticidade ou contratura.

Knoll (2002) desenvolveu um equipamento de CPM que pode ser utilizado no ombro, cotovelo e joelho após intervenção cirúrgica. O dispositivo possui um *drive* para controle de movimento controlado por um *software* destinado a proporcionar uma terapia individualizada.

Mason (2004) patenteou um dispositivo de CPM aplicado à reabilitação do ombro ou cotovelo, oferecendo uma variedade de exercícios para a articulação.

Mason e Howard (2004; 2006) patentearam um aparelho de CPM específico para a reabilitação do cotovelo e ombro. Ele inclui um extensor motorizado com uma corda suspensa de comprimento variável e adaptável a diferentes medidas antropométricas de pacientes e tipos de patologias (ver Figura 5). O dispositivo permite que o braço do paciente seja suspenso em uma corda, onde um extensor motorizado possibilita a elevação e retorno do braço à posição inicial. Em função do tipo e finalidade da terapia é possível ser modificado o ponto de suspensão do braço, e ajustar o sistema de maneira específica para o tratamento do cotovelo ou do ombro. O equipamento também inclui uma *interface* que permite a comunicação do usuário com um controlador, o qual possui ajustes para determinar os limites - altos e baixos - de operação. Estes limites correspondem ao comprimento da corda que está conectada ao motor. Os dados correspondentes são expressos na *interface*. O motor proporciona ciclos repetitivos de tratamento.

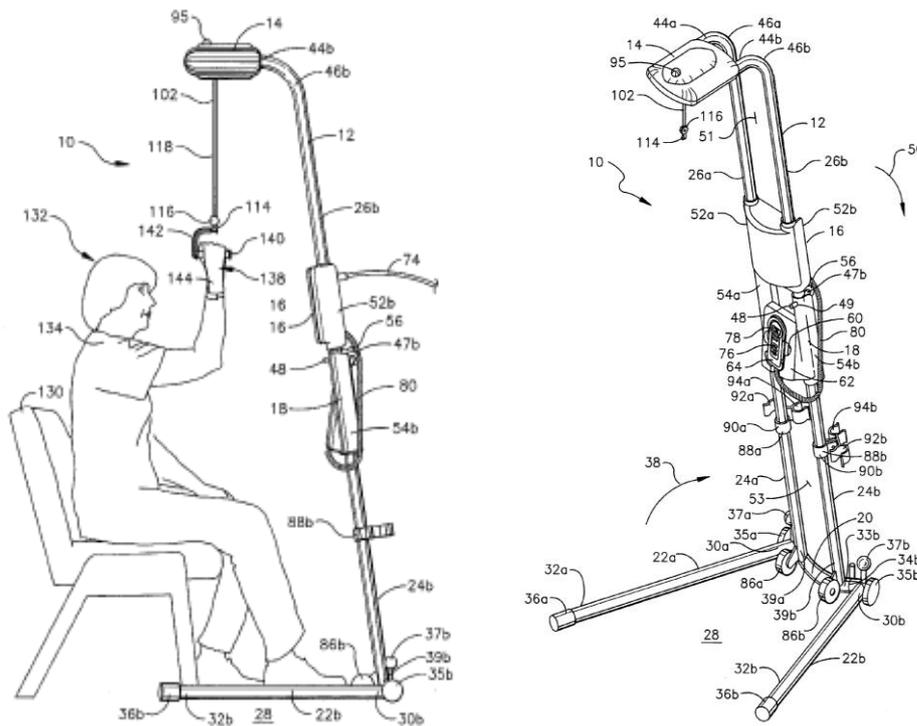


Figura 5. Equipamento proposto por Mason e Howard (2004)

Ou *et al.* (2004; 2006) desenvolveram um sistema aplicado à reabilitação de lesões dos membros e articulações. O equipamento permite o monitoramento que reflete as adesões e rigidez articular, mostrando o estágio da lesão para orientar as condições de reabilitação, assim como para controlar os mecanismos de reabilitação com segurança. O dispositivo pode monitorar a força ou torque e está ligado ao mecanismo da CPM que efetua a medida da força do motor em relação à repetição do movimento de flexão/extensão. Este equipamento também avalia a mudança de viscosidade e rigidez da articulação lesionada por diferentes períodos de reabilitação, monitora os diferentes graus de contração ativa muscular e a redução ou paradas de movimentos repetitivos. Além disso, o sistema de monitoração possui uma *interface* com um transceptor (transmissor – receptor) que pode ser utilizado para enviar e receber dados armazenados relativos ao estágio de evolução do paciente. O modo de CPM é ativado quando o sistema não detecta contração muscular do indivíduo.

Lee *et al.* (2008) propuseram um equipamento de CPM para ombro e cotovelo que inclui um assento e um encosto, uma unidade de suporte para o braço de movimento do cotovelo e uma unidade de movimento rotacional do antebraço do paciente conectada à unidade de movimento do braço (ver Figura 6). Este mecanismo pode ser instalado no lado direito ou esquerdo do corpo do paciente. O equipamento é composto por um sistema de controle de velocidade, que possui um motor com várias engrenagens que têm a função de transmitir a rotação e realizar movimentos de flexão/extensão do cotovelo e ombro, como também de adução e abdução horizontal do ombro.

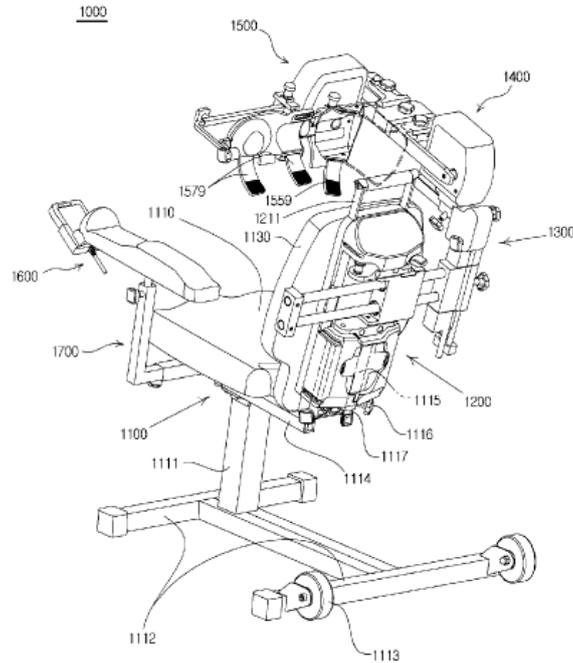


Figura 6. Equipamento proposto por Lee *et al.* (2008)

2.2 Patentes de equipamentos aplicados na reabilitação do antebraço

Culhane e Saringer (1998) e Saringer e Culhane (1999) patentearam no Canadá e Estados Unidos, respectivamente, um equipamento de CPM controlado para articulações sinoviais e tecidos adjacentes, especificamente para membros superiores ajustável à ADM do antebraço (ver Figura 7). O invento inclui um suporte fixo para o braço e outro suporte ajustável ao comprimento do antebraço do paciente, oferece uma completa ADM e possui um goniômetro na unidade de acionamento. O suporte do antebraço é interligado ao centro rotacional da unidade de controle que realiza os movimentos de pronação/supinação do antebraço, em um eixo paralelo ao eixo longitudinal anatômico do segmento. O braço e o antebraço ficam apoiados em seus respectivos suportes formando um ângulo de 90° de flexão do cotovelo. A ativação é operada eletronicamente e conectada a um controle que fica com o paciente, com mecanismo de liga/desliga e reversor de carga do sistema. Se o paciente estiver com dor e resistir à direção, o dispositivo trava o motor e o circuito modifica a direção da rotação. Dois interruptores controlam a amplitude de rotação atribuída ao antebraço.

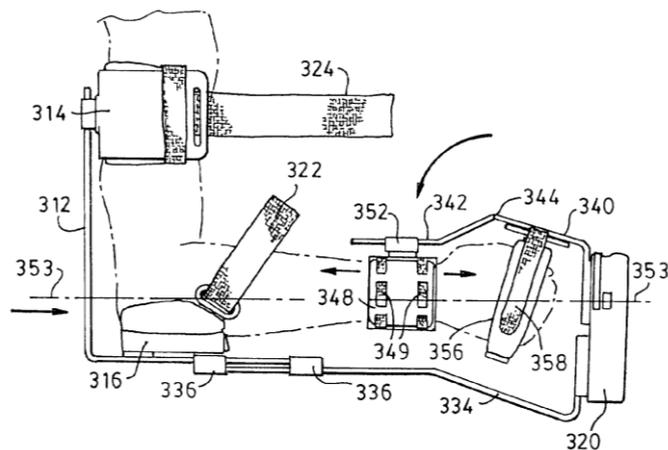


Figura 7. Equipamento proposto por Culhane e Saringer (1998)

Schnapp e Mays (2000) desenvolveram um equipamento que realiza exercícios ativos e passivos da mão, punho e antebraço. Foram adicionadas para pronação/supinação do antebraço duas alças cônicas,

uma para cada mão, conectadas através de um eixo, a um sistema de engrenagens ligado a um sistema de acionamento (ver Figura 8). As engrenagens do sistema permitem rotações no sentido horário e anti-horário de um *joystick*. O paciente aciona o sistema quando realiza os movimentos de pronação/supinação e a oscilação rotatória é transferida ao *joystick* através das engrenagens. O ajuste da posição inicial permite que o paciente estabeleça o ponto de partida como o ponto onde a força é máxima. O sistema armazena energia suficiente a partir da entrada do paciente para continuar o movimento quando a força ou ADM diminuem a ponto do exercício não ser mais realizado ativamente, então a inércia do sistema continua o movimento rotacional do punho.

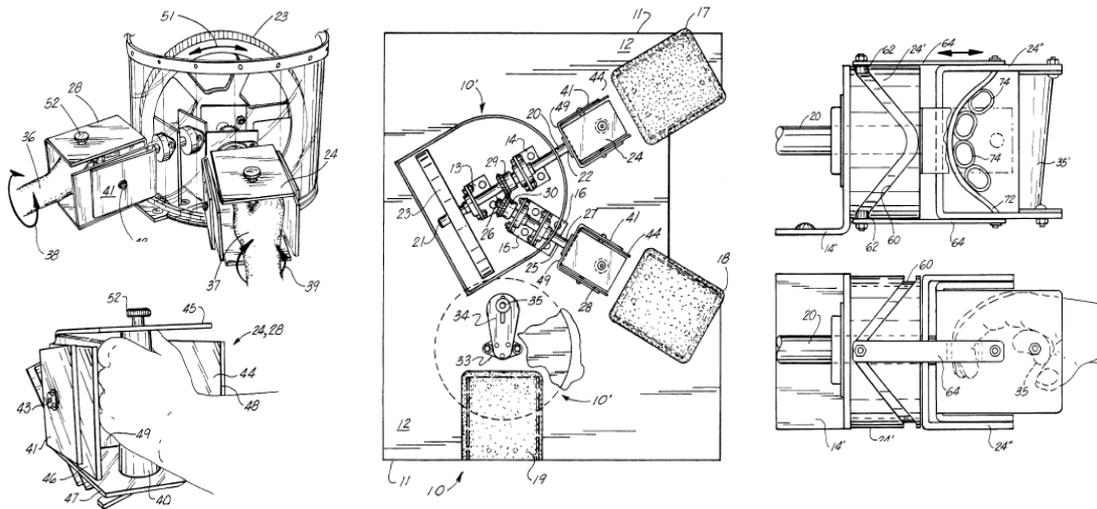


Figura 8. Equipamento proposto por Schnapp e Mays (2000)

A invenção de Beny e Oster (2004) está direcionada à reabilitação articular e ligamentar dos membros superiores, particularmente, à reabilitação com o método de CPM. O membro superior é posicionado numa órtese que reproduz movimentos do complexo articular escápulo-umeral, assim como da articulação ulnar. Este equipamento é compacto e permite que o braço e antebraço possam ser movimentados em diferentes velocidades numa angulação específica, com ajuste para cada paciente, a partir das características anatômicas das articulações em questão. Pode ser utilizado em ambos os membros superiores e realiza os movimentos de adução/abdução, flexão/extensão horizontal, rotação interna e externa do ombro, bem como pronação/supinação do antebraço de forma independente ou simultânea.

2.3 Patentes de equipamentos aplicados na reabilitação do cotovelo e antebraço

Saringer (1984) patenteou um aparelho portátil para CPM pré-determinada do cotovelo em que o suporte do braço pode ser apoiado na parte superior do corpo do paciente, o suporte do antebraço é articulável em relação ao primeiro e possui um apoio para a mão. O sistema possibilita a flexão do cotovelo e pronação/supinação do antebraço. O motor garante um movimento contínuo rítmico lento alternado aplicável ao conjunto articular.

Culhane *et al.* (2001; 2006) patentearam um dispositivo de movimentação que inclui um mecanismo de flexão/extensão do cotovelo, pronação/supinação do antebraço e compensação do ângulo valgo do cotovelo (ver Figura 9). O apoio distal do rádio e da ulna se move em um plano de movimento em relação ao úmero, de forma a fornecer a flexão do cotovelo. A compensação do ângulo valgo é ativada por meio dos mecanismos de flexão e de pronação/supinação. Este dispositivo inclui dois microprocessadores controlados por sensores de movimento localizados no cotovelo e na porção distal do suporte do antebraço que proporcionam a CPM e/ou órtese eletrônica progressiva controlada. Possibilita uma completa variação da ADM de flexão, pronação/supinação do antebraço sincronizada, independente ou em série. O equipamento é controlado por uma *interface* que permite ao operador ajustar a velocidade de deslocamento no modo da CPM, ADM, tempo de pausa no final do ciclo e reversão da

carga. Pode ser bloqueado eletronicamente e compensar as variações antropométricas entre os pacientes, relacionadas às diferenças de circunferência do braço, comprimento e eixo anatômico em relação à superfície exterior do braço.

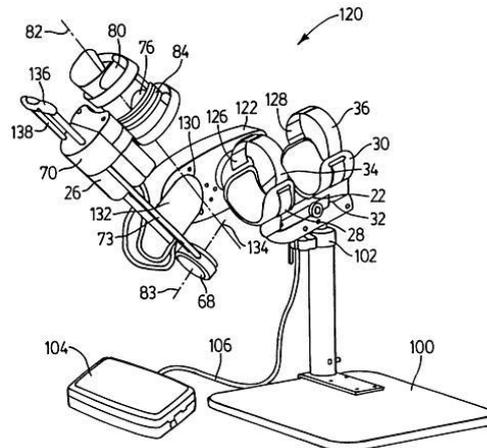


Figura 9. Equipamento proposto por Culhane *et al.* (2001)

2.4 Publicações sobre equipamentos aplicados na reabilitação do cotovelo e antebraço

Devido a necessidade de uma órtese para membros superiores para utilização de pessoas com deficiência, fraqueza muscular ou lesão Johnson (2001) desenvolveu um dispositivo com cinco graus de liberdade de movimentos acionados eletricamente e, com três graus de liberdade no ombro, no cotovelo e no antebraço. O sistema foi projetado para operar em três modos de comando: (i) movimentos controlados para pessoas com incapacidade grave, (ii) CPM para o tratamento das articulações após a lesão, (iii) exercícios de fortalecimento para idosos ou recuperação de lesão ou cirurgia, sendo que este último modo não foi totalmente implementado na fase de protótipo. A trajetória das articulações é programada e pode ser repetida para um determinado número de ciclos em uma velocidade escolhida.

Mazzer (2001) publicou os resultados do desenvolvimento de um aparelho de CPM para cotovelo, realizado na Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, com tecnologia nacional. O protótipo foi construído com base em: (i) um sistema de base de apoio, cadeira giratória e coluna regulável; e (ii) um sistema de movimentação independente e combinado, que consta de motores, fuso, apoio de braço e de antebraço e sistemas de polias; (iii) mecanismo de acionamento e controle, que consta de um comando de liga/desliga, controle de velocidades e de movimento. O aparelho foi projetado para ser empregado na reabilitação do cotovelo e antebraço executando movimentos de flexão/extensão e de pronação/supinação do antebraço de forma isolada ou combinada.

Mândru *et al.* (2005) projetaram um equipamento para mobilização passiva e ativa do membro superior, destinado à reabilitação das articulações do ombro, cotovelo e punho. Para realização do movimento passivo foi adicionado um braço robótico que é programado para se mover ao longo de uma trajetória elíptica que pode ser modificada em forma, dimensões, posição da trajetória no espaço, velocidade e direção do movimento. Este equipamento permite uma extensa gama de movimentos que podem ser selecionados e controlados. Estes autores afirmam que o princípio mais importante do dispositivo é a simplicidade construtiva.

Mavroids *et al.* (2005) construíram e otimizaram um dispositivo portátil para a reabilitação do cotovelo, que é utilizável ao longo de todo o processo de reabilitação do paciente com traumatismo grave do cotovelo. O dispositivo possui três configurações: (i) passiva, (ii) ativa, e (iii) órtese. O dispositivo é composto por um motor de corrente contínua (CC), caixa de velocidades, codificador, embreagem e freio. No modo passivo, o dispositivo move o antebraço em relação ao cotovelo a fim de recuperar a ADM. Atua como um equipamento "inteligente" para CPM, devido a existência de um sensor que permite um constante *feedback*, durante cada ciclo da ADM. O torque e a velocidade do

movimento passivo são controlados pela corrente e tensão, respectivamente, esta controlada pelo motor. No modo ativo uma resistência variável é aplicada utilizando o freio. Ambos os modos são controlados, monitorados e armazenados pelo programa de computador - LabVIEW), com um protocolo específico definido por um fisioterapeuta, médico ou treinador físico. Akshay *et al.* (2007) desenvolveram um equipamento de CPM para as articulações do punho e cotovelo num único mecanismo compacto, modular, portátil com programação flexível possuindo vários parâmetros de operação. O dispositivo é totalmente modular para a realização do movimento de pronação/supinação, o usuário pode substituir o sistema destinado aos movimentos do punho do eixo do motor pelo sistema de pronação/supinação. Logo, se o usuário quer fazer a flexão/extensão do cotovelo é necessário conectar o sistema que possibilita a realização destes movimentos. O torque de saída do dispositivo deve ser capaz de mover o membro do paciente contra a gravidade. Todo o programa é orientado por *menus* de tal forma que o terapeuta pode acessar os parâmetros sequenciais para programar o sistema e o microcontrolador que calcula a rotação do motor de passo com base nos valores de entrada dos diferentes parâmetros informados.

Callegaro (2010) propôs um novo controle a um equipamento existente de CPM para cotovelo e antebraço. Foi desenvolvido um protótipo computadorizado em que os movimentos são controlados por princípios de Comando Numérico Computadorizado. O sistema possibilita a programação de sequências de movimentos passivos contínuos de flexão/extensão para o cotovelo e pronação/supinação do antebraço com ADM, velocidade e tempo determinados pelo terapeuta. As sequências podem ser programadas com velocidade e ADM variáveis conforme objetivos do tratamento e características individuais de cada indivíduo. Além disso, é possível avaliar a ADM destas articulações através de um *software* de controle existente neste equipamento.

3 Síntese

Nesta seção é apresentada uma síntese a partir do estudo bibliográfico e documental realizado sobre patentes e publicações destinadas ao desenvolvimento de equipamentos de Movimentação Passiva Contínua – CPM. Foram encontradas quatorze patentes de equipamentos de CPM aplicados à articulação do cotovelo e apenas quatro patentes referem-se a equipamentos de CPM destinados ao tratamento do antebraço e três são patentes de equipamentos de CPM para cotovelo e antebraço. Em relação às publicações, duas são referentes ao desenvolvimento de equipamentos que realizam a CPM do cotovelo e quatro são voltadas ao tratamento do cotovelo e antebraço (ver Figura 10).

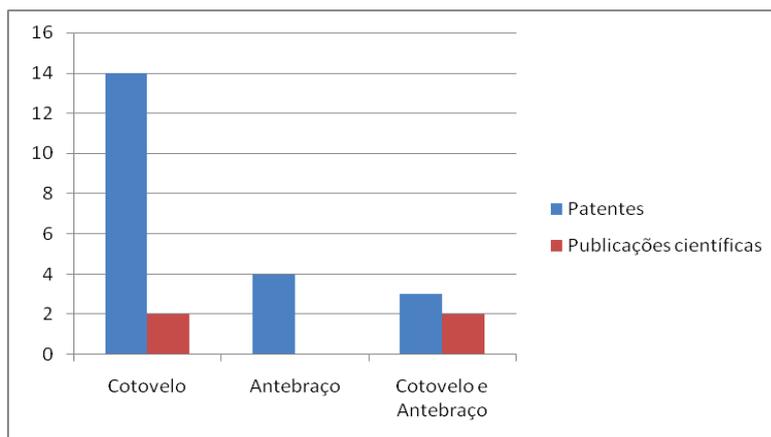


Figura 10. Comparativo entre o número de publicações e patentes em relação às articulações do cotovelo e do antebraço

A análise do referencial teórico permitiu identificar doze dos equipamentos desenvolvidos para desempenhar somente a função de CPM e seis possuem associada a esta função a possibilidade de realizar também movimentos ativos. Apenas dois equipamentos foram encontrados para tratamentos aplicados a alongamentos musculares. Também foi possível verificar que dois equipamentos possibilitam a utilização de ferramentas para avaliação e uma pode ser utilizada ainda como prótese, ver Figura 11.

A maioria das patentes e publicações mostra que os equipamentos possuem funções extras à Movimentação Passiva Contínua - CPM. Somente em duas publicações podem-se constatar relatos do desenvolvimento de equipamentos exclusivos de CPM para o antebraço, ou seja, que realizam somente o movimento de pronação/supinação do antebraço. A partir do referencial teórico pesquisado foi observada a não existência de publicações científicas que relatam o desenvolvimento de equipamentos com a função exclusiva de CPM para o cotovelo, aplicado a realizar o movimento de flexão/extensão.

Tipo de referencial	Autores	Aplicação dos equipamentos destinados a CPM
Patente	Nicolosi e Turner (1978)	CPM para joelho e cotovelo
Patente	Saringer (1984)	CPM para cotovelo, joelho e tornozelo
Patente	Hajianpour (1985)	CPM para cotovelo e antebraço
Patente	Kaiser <i>et al.</i> (1992)	CPM para joelho, tornozelo, quadril, cotovelo, punho ou semelhantes
Patente	Siegler <i>et al.</i> (1993)	CPM para tornozelo, punho, cotovelo, ombro, joelho e outras e avaliação
Patente	Singer e Trickey (1993)	Órtese, prótese ou CPM para cotovelo, joelho, punho ou quadril
Patente	Bonutti e Zitzmann (1995)	Órtese para alongamento articular e CPM de flexão/extensão de articulação
Patente	Culhane e Saringer (1997)	CPM para antebraço
Patente	Saringer e Culhane (1999)	CPM para antebraço
Patente	Schnapp e Mays (2000)	Exercícios ativos e passivos da mão, punho e antebraço
Patente	Culhane <i>et al.</i> (2001; 2006)	Órtese progressiva controlada e CPM para cotovelo, antebraço e ângulo valgo do cotovelo
Publicação	Johnson (2001)	CPM e de exercícios de resistências para articulações
Publicação	Mazzer (2001)	CPM para cotovelo e antebraço
Patente	Zhang (2002)	CPM e controle do torque de resistência, alongamento e velocidade de articulações
Patente	Knoll (2002)	CPM que pode ser utilizado no ombro, cotovelo e joelho
Patente	Beny e Oster (2004)	Órtese de CPM para cintura escapular e antebraço
Patente	Mason (2004)	CPM para ombro ou cotovelo
Patente	Mason e Howard (2004; 2006)	CPM para cotovelo e ombro
Patente	Ou <i>et al.</i> (2004; 2006)	Assistência de movimento e CPM quando não detectada contração muscular
Publicação	Mândru <i>et al.</i> (2005)	CPM e ativa do ombro, cotovelo e punho
Publicação	Mavroids <i>et al.</i> (2005)	CPM, assistência e resistência para o cotovelo
Publicação	Akshay <i>et al.</i> (2007)	CPM modular para cotovelo, antebraço e punho
Patente	Lee <i>et al.</i> (2008)	CPM para ombro e cotovelo
Publicação	Callegaro (2010)	CPM para cotovelo e antebraço e avaliação da ADM destas articulações

Figura 11. Síntese das patentes e publicações em relação às aplicações dos equipamentos

4 Conclusões

Este artigo teve por finalidade analisar os estudos (artigos e dissertações) e patentes, realizados a partir de 1978, que abordam o desenvolvimento de equipamentos para Movimentação Passiva Contínua aplicados à reabilitação das articulações do cotovelo e do antebraço. O trabalho apresentou uma síntese a partir da revisão de literatura como contribuição a futuras pesquisas para o desenvolvimento de novas tecnologias e produtos ergonômicos.

Foi possível identificar que doze dos equipamentos desenvolvidos desempenham somente a função de CPM e seis possuem associada a esta função a possibilidade de realizar também movimentos ativos. Apenas dois equipamentos foram encontrados para tratamentos aplicados a alongamentos musculares. As patentes e publicações mostram que os equipamentos possuem funções extras à Movimentação Passiva Contínua - CPM.

Somente em duas publicações podem-se constatar relatos do desenvolvimento de equipamentos exclusivos de CPM para o antebraço, ou seja, que realizam somente o movimento de pronação/supinação do antebraço. Foi constatada a não existência de publicações científicas que relatam o desenvolvimento de equipamentos com a função exclusiva de CPM para o cotovelo, aplicado a realizar o movimento de flexão/extensão.

O estudo mostrou que o número de patentes registradas é superior ao número de trabalhos científicos publicados sobre o desenvolvimento de equipamentos de CPM para cotovelo e antebraço, a partir de 1978. O estudo mostrou que existe uma grande diversidade nas funções desempenhadas por estes equipamentos quando associadas à função de CPM.

Sugere-se a continuidade de pesquisas que tenham por finalidade analisar os sistemas destes equipamentos a partir de análises funcionais, operacionais, morfológicas e sincrônica, como também, desenvolver novos equipamentos para reabilitação do cotovelo e antebraço, e a otimização destes equipamentos para aplicações clínicas visando a melhoria da qualidade de vida dos pacientes.

Referências

- Akabay M. *et al.* Design and Implementation of a Mechatronic Device for Wrist and Elbow Rehabilitation. *Proceeding i-CREATE '07 Proceedings of the 1st international convention on Rehabilitation engineering & assistive technology*, ACM New York, pp. 212-215, 2007.
- Back N. *et al.* *Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem*. São Paulo: Manole, 2008.
- Beny L., Oster L. *Splint for passive motion of an upper limb*. AbilityOne Corporation (Bolingbrook, IL). United States Patent n. US006676612, January 13, 2004.
- Bonutti P. M., Zitzmann G. E. *Orthosis with distraction through range of motion*. Effingham, III. United States Patente n. US005395303A, March 7, 1995.
- Cayres P. G. *et al.* O aprendizado interdisciplinar através do desenvolvimento do produto: um estudo de caso envolvendo a área de fisioterapia. *Anais... XXV ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, ABEPRO, Porto Alegre, 2005.
- Culhane J.J., Saringer, J.H. *Continuous passive motion device for upper extremity forearm therapy*. Canadian Intellectual Property Office. CA2216863C, September 26, 1998.
- Culhane J.J. *et al.* *Combination pro/supination and flexion therapeutic mobilization device*. United States Patent n. US7101347B2, September 5, 2006.
- Culhane J. J. *et al.* *Combination pro/supination and flexion therapeutic mobilization device*. Orthorehab Inc Pub n. WO/2001/068028. International Application n. PCT/CA2001/000321, September 20, 2001.
- Callegaro A. M. *Desenvolvimento de um Equipamento Computadorizado de Movimentação Passiva Contínua para Cotovelo e Antebraço*, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2010.
- Hajianpour M.A. *Passive exercising device*. United States Patent n. 4538595, September 3, 1985.
- Jensen R.J. *Dynamic continuous passive motion chair*. United States Patent n. 5976097. November 2, 1999.
- Johnson G.R. *et al.* The design of a five-degree-of-freedom powered orthosis for the upper limb. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers – Part H – Journal of Engineering in Medicine*, v. 215, n.3, pp.275-284, 2001.
- Kaiser R.T. *et al.* *Continuous Passive Motion Exercise Apparatus*. Ottawa, C1305380, July 21, 1992.
- Knoll G. *Therapeutic device*. United States Patent Application n. US20020082530A1, June 26, 2002.
- Laupattarakasem W. Short term Continuous Passive Motion. *The Journal of Bone and Joint Surgery [Br]*, v. 70-B, pp. 802-806, 1988.
- Lee C.S. *Shoulder and Elbow Continuous Passive Movement*. World Intellectual Property Organization n. WO2008/066310A1. June 5, 2008.

- Mândru D. *et al.* Device for upper limb kinethotherapy. *Annals of the Oradea University. Fascicle of Management and Technological Engineering*, v. XIV (IV), 2005, ISSN 1583-0691, CNCSIS "Clasa B".
- Mason J.T. *Continuous passive motion device for a shoulder or elbow*. Breg, Inc. (Vista, CA). United States Design Patent n. D486870S. November 1, 2002. February 17, 2004.
- Mason J.T., Howard M.E. *Continuous passive motion device for rehabilitation of the elbow or shoulder*. Assignee: Breg, Inc. Vista, CA (US). United States Patent n. US7108664B2, September 19, 2006.
- Mason J.T., Howard, M.E. *Continuous passive motion device for rehabilitation of the elbow or shoulder*. United States Patent Application Publication n. US20040087880A1, May 6, 2004.
- Mavroids C. *et al.* Smart portable rehabilitation devices. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, v. 2, n. 18, 2005.
- Mazzer P.Y.C.N. *Desenvolvimento de um aparelho de movimentação passiva contínua para o cotovelo*. Dissertação (Mestrado em Bioengenharia) - Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2001.
- Nicolosi J.P., Turner M.M. *Physical Therapy Apparatus and Method*. United States Patent n. 4089330, May 16, 1978.
- O’driscoll S.W., Giori N.J. Continuous passive motion (CPM): theory and principles of clinical application. *Journal of rehabilitation research and development*, v. 37, n. 2, pp. 179-188, 2000.
- Ou Y-J. *et al.* Continuous passive motion exercise system with driven monitoring. Industrial Technology Research Institute (Hsin Chu Hsien, TW). United States Patent n. US007090650, August 15, 2006.
- Ou Y-J *et al.* Continuous passive motion exercise system with driven monitoring. Industrial Technology Research Institute (Hsin Chu Hsien, TW). United States Patent Application n. 20040127821, July 30, 2004.
- Salter R.B., Field P. The effects of continuous compression on living articular cartilage. An experimental investigation. *Journal of Bone and Joint Surgery*, v. 42-A, pp. 31-49, 1960.
- Salter R.B. *et al.* Clinical application of basic research on continuous passive motion for disorders and injuries of synovial joints: a preliminary report of a feasibility study. *Journal of Orthopedic Research*, v. 1, n. 3, pp. 325-342, 1984.
- Saringer J.H. *Device for imparting continuous passive motion to human joints*. United States Patent n. 4487199, December 11, 1984.
- Saringer J. H., Culhane J. J. *Continuous passive motion device for upper extremity forearm therapy*. Assignee: Orthologic Corp. (Phoenix, AZ). United States Patent n. US5951499A, September 14, 1999.
- Schnapp M., Mays K.S. *Rehabilitative Apparatus for Treating Reflex Sympathetic Distrophy*. United States Patent n. US006149612A, November 21, 2000.
- Siegler S. *Joint Flexibility Determining Apparatus and Method*. World Intellectual Property Organization. WO/1993/002621, February 18, 1993.
- Singer R.D., Trickey E.A. *Electronic range of motion apparatus, for orthosis, prosthesis, and CPM machine*. United States Patent n. US005252102A, October 12, 1993.
- Souza F., Aguiar A. S. J. Mobilização passiva contínua: Uma revisão de literatura. *Revista brasileira de fisioterapia ortopédica, traumatológica e desportiva*, v. 1, n. 2, pp. 72-77, 2004.
- Tushman M., Nadler D. *Organizando-se para a Inovação*. In: Starkey, K. Como as organizações aprendem. São Paulo: Futura, 1997.
- Zhang L-Q. *Dispositif D'etirement Intelligent Portable*. World Intellectual Property Organization. WO/2002/096274, December 05, 2002.