



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(21) PI 0913757-2 A2**



**(22) Data do Depósito:** 17/09/2009

**(43) Data da Publicação Nacional:** 18/08/2020

**(54) Título:** APARELHO PARA ESTIMAR A FORÇA UTILIZADA POR UM USUÁRIO AO EXECUTAR O COMPONENTE VERTICAL DE UM MOVIMENTO, MÉTODO PARA ESTIMAR A FORÇA UTILIZADA POR UM USUÁRIO AO EXECUTAR O COMPONENTE VERTICAL DE UM MOVIMENTO E PRODUTO DE PROGRAMA DE COMPUTADOR

**(51) Int. Cl.:** A61B 5/00; A61B 5/11; A63B 23/02.

**(30) Prioridade Unionista:** 23/09/2008 EP 08164910.5.

**(71) Depositante(es):** KONINKLIJKE PHILIPS ELECTRONICS N.V..

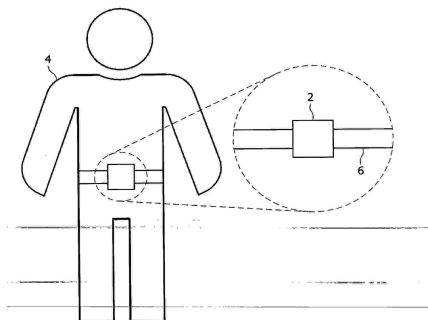
**(72) Inventor(es):** STEPHAN SCHLUMBOHM; HERIBERT BALDUS; WIEBREN ZIJLSTRA.

**(86) Pedido PCT:** PCT IB2009054076 de 17/09/2009

**(87) Publicação PCT:** WO 2010/035187 de 01/04/2010

**(85) Data da Fase Nacional:** 18/03/2011

**(57) Resumo:** APARELHO PARA ESTIMAR A FORÇA UTILIZADA POR UM USUÁRIO AO EXECUTAR O COMPONENTE VERTICAL DE UM MOVIMENTO, MÉTODO PARA ESTIMAR A FORÇA UTILIZADA POR UM USUÁRIO AO EXECUTAR O COMPONENTE VERTICAL DE UM MOVIMENTO E PRODUTO DE PROGRAMA DE COMPUTADOR É apresentado um aparelho para estimar a força utilizada por um usuário ao executar o componente vertical de um movimento, e o aparelho compreende um acelerômetro para fixação a um usuário que mede a aceleração experimentada pelo usuário; o aparelho compreende adicionalmente um processador configurado para receber as medições de aceleração do acelerômetro fixado ao usuário; para estimar as acelerações verticais a partir das medições recebidas; e para estimar a força utilizada a partir das acelerações verticais.



APARELHO PARA ESTIMAR A FORÇA UTILIZADA POR UM  
USUÁRIO AO EXECUTAR O COMPONENTE VERTICAL DE UM MOVIMENTO,  
MÉTODO PARA ESTIMAR A FORÇA UTILIZADA POR UM USUÁRIO AO  
EXECUTAR O COMPONENTE VERTICAL DE UM MOVIMENTO E PRODUTO DE  
5 PROGRAMA DE COMPUTADOR

#### CAMPO TÉCNICO DA INVENÇÃO

A invenção refere-se a um método e a um aparelho  
para medir a força ou resistência utilizadas durante um  
movimento, e em particular para medir a força ou resistência  
10 utilizadas nas partes verticais de um movimento.

#### ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

As quedas são um dos maiores fatores de risco à  
saúde das pessoas idosas. Foi descoberto que em torno de um  
terço das pessoas com mais de 65 anos cai pelo menos uma vez  
15 por ano.

Muitas dessas quedas poderiam ser evitadas com a  
identificação precoce do risco de quedas e com a aplicação de  
programas de prevenção de quedas eficazes e específicos. As  
tentativas de prevenção de quedas baseadas no treinamento de  
20 força e equilíbrio (SBT) mostraram que o risco de quedas em  
pessoas idosas pode ser reduzido.

As medições de desempenho do equilíbrio podem ser  
utilizadas como indicadores precoces do risco de quedas e  
podem medir o progresso dos programas de prevenção de quedas.  
25 Em particular, o movimento de passar do estado Sentado para  
Em pé (STS) foi identificado como um movimento importante a  
esse respeito. Os peritos em domínio compararam o gráfico da  
força gerada durante o movimento de passar do estado Sentado  
para Em pé na prevenção de quedas com o gráfico de ECG em  
30 doenças cardiovasculares. Na vida cotidiana, o movimento de  
STS é executado por cada pessoa várias vezes ao dia.

Convencionalmente, somente os sistemas de medições  
clínicas (tais como aqueles que incluem uma placa de força e

um sistema marcador óptico) permitem uma quantificação exata da força durante o movimento de passar do estado Sentado para Em pé. Nesses sistemas de medição, a placa de força provê a força vertical de reação do solo, e o sistema marcador óptico provê a medição do deslocamento em três dimensões. A combinação de ambas as medições é utilizada para quantificar a força durante o movimento para passar do estado Sentado para Em pé.

Esses sistemas de medição apresentam vários inconvenientes. Primeiramente, eles consistem em um equipamento clínico, e é necessário que o usuário compareça a um hospital. Eles requerem muito trabalho para preparar e para executar a medição (particularmente se for preciso que vários marcadores ópticos sejam fixados a partes específicas do corpo). Além disso, só fornecem um instantâneo do desempenho do equilíbrio do usuário, onde, devido aos ajustes clínicos, o usuário geralmente tem um desempenho além da capacidade média. Além disso, os sistemas de medições envolvem um procedimento que é muito incômodo ao usuário.

O documento WO 2007/082389 apresenta um método e um sistema para avaliar o desempenho atlético. O documento EP 1195139 apresenta um sistema e um método de monitoramento do movimento corporal. O documento GB 2422790 apresenta uma medição da aptidão física.

Há, portanto, a necessidade de um método e de um sistema para medir a força utilizada durante um movimento vertical, tal como a passagem do estado Sentado para Em pé, que sejam fáceis e simples de operar pelo usuário.

#### DESCRIÇÃO RESUMIDA DA INVENÇÃO

De acordo com um primeiro aspecto da invenção, é apresentado um aparelho para estimar a força utilizada por um usuário ao executar o componente vertical de um movimento, de acordo com a reivindicação 1.

De acordo com um segundo aspecto da invenção, é apresentado um método para estimar a força utilizada por um usuário ao executar o componente vertical de um movimento, de acordo com a reivindicação 13.

5 De acordo com um terceiro aspecto da invenção, é apresentado um produto programa de computador, de acordo com a reivindicação 14.

#### BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

10 As realizações da invenção serão descritas agora, somente a título de exemplo, com referência aos desenhos a seguir, nos quais:

A Figura 1 mostra uma unidade de sensor, de acordo com a invenção, fixada a um usuário.

15 A Figura 2 mostra a unidade de sensor mais detalhadamente.

A Figura 3 mostra as acelerações e as forças que agem no usuário e que são exercidas pelo usuário ao executar a passagem do estado Sentado ao estado Em pé.

20 A Figura 4 é um diagrama que ilustra o cálculo da orientação de um acelerômetro a partir da aceleração medida.

A Figura 5 é um diagrama que ilustra as etapas em um método de acordo com a invenção.

#### DESCRIÇÃO DETALHADA DAS REALIZAÇÕES PREFERIDAS

25 Tal como mostrado na Figura 1, a invenção apresenta uma unidade de sensor 2 que é fixada ao corpo do usuário 4, preferivelmente no tronco do corpo, tal como na pélvis ou no esterno, por algum dispositivo de fixação 6, tal como uma correia ou uma cinta (ou por um cordão de pescoço, se a unidade 2 estiver na forma de um pendente). A unidade de  
30 sensor 2 é utilizada para determinar a força ou a resistência utilizadas durante um movimento do corpo que envolve um movimento na direção vertical, tal como a passagem de um movimento do estado Sentado para Em pé (STS), onde o usuário

4 se levanta de uma posição sentada, das medições de aceleração do corpo do usuário 4.

A unidade de sensor 2 determina a força ou a resistência utilizadas ao executar o componente vertical do movimento. A unidade de sensor 2 pode calcular a força ou a resistência utilizadas em todo o movimento vertical, mas, em realizações alternativas, a unidade de sensor 2 pode ser utilizada para determinar a força ou a resistência durante certas partes do movimento vertical.

A Figura 2 mostra uma realização preferida da unidade de sensor 2 de acordo com a invenção. A unidade de sensor 2 compreende um acelerômetro 8, que mede a aceleração ao longo de três eixos ortogonais e provê os sinais correspondentes. Os sinais são fornecidos a um processador 10 para análise. A unidade de sensor 2 compreende também uma memória 12 e um circuito transmissor ou transceptor 14. A memória 12 é utilizada para armazenar medições do acelerômetro 8 e para armazenar os resultados da análise feita pelo processador 10. O circuito transmissor ou transceptor 14 é utilizado para transmitir os resultados da análise a uma unidade remota ou a um computador onde eles possam ser vistos ou estudados pelo usuário 4 ou por um agente de saúde.

Preferivelmente, o acelerômetro 8 é um acelerômetro de sistema micro-eletromecânico 8 (MEMS).

No método para calcular a força ou a resistência utilizadas no movimento na direção vertical aqui descrita, a força ou a resistência são calculadas em uma estrutura de referência fixa (tal como a Terra). Como parte deste método, é necessário determinar a aceleração vertical experimentada pelo usuário 4 durante o movimento vertical.

Nesta realização da invenção, a aceleração vertical é calculada somente a partir das medições do acelerômetro 8, de acordo com o algoritmo descrito abaixo.

Em algumas realizações (menos preferidas), a unidade de sensor 2 compreende um ou mais outros sensores além do acelerômetro 8 para determinar a orientação (ou mudanças na orientação) da unidade de sensor 2, tais como um giroscópio e/ou um magnetômetro. Nesta realização, não é necessário implementar o algoritmo descrito abaixo, porque o giroscópio e/ou o magnetômetro podem fornecer uma indicação da orientação da unidade de sensor 2, e as medições do acelerômetro 8 podem ser convertidas na estrutura de referência fixa utilizando a orientação determinada, e a aceleração vertical pode ser determinada.

A Figura 3 mostra uma vista lateral do usuário 4 na metade de um movimento na direção vertical, e em particular em um movimento do estado Sentado ao estado Em pé (STS). Tal como mostrado, a unidade de sensor 2 está fixada ao esterno do usuário 4.

À medida que o acelerômetro 8 é fixado na unidade de sensor 2, a orientação da unidade de sensor 2 e do acelerômetro 8 muda durante o movimento de STS, e a unidade de sensor 2 é mostrada em um ângulo  $\theta$  da vertical.

Portanto, para obter a aceleração na direção vertical (na estrutura de referência fixa) é necessário compensar as medições do acelerômetro 8 para essas mudanças na orientação.

A Figura 4 é uma ilustração da medição da aceleração A medida pelo acelerômetro 8. O acelerômetro 8 mede a aceleração A que age sobre ele em três dimensões, e fornece os sinais que indicam a aceleração A ao longo de três eixos ortogonais (indicados como  $x_a$ ,  $y_a$  e  $z_a$ ) ao processador 10.

Nessa Figura, a aceleração  $A$  apresenta os componentes  $A_x$ ,  $A_y$  e  $A_z$  medidos ao longo dos três eixos, respectivamente.

Para um acelerômetro 8 que é submetido a uma pequena ou a nenhuma aceleração (com exceção da gravidade), a aceleração  $A$  experimentada pelo acelerômetro 8 irá corresponder substancialmente àquela da gravidade. Desse modo, com essa suposição, é possível ligar a aceleração  $A$  à gravidade, cuja direção é conhecida na estrutura de referência fixa.

A orientação do acelerômetro 8 pode ser estimada ao calcular o ângulo entre a aceleração  $A$  e o eixo do acelerômetro 8 que tem a magnitude mais alta de aceleração.

Para estimar a orientação do acelerômetro 8, a aceleração que age no acelerômetro 8 é medida, e os sinais são fornecidos ao processador 10, que indica os componentes de aceleração ( $A_x$ ,  $A_y$  e  $A_z$ ) ao longo dos três eixos ortogonais do acelerômetro 8 ( $x_a$ ,  $y_a$  e  $z_a$  respectivamente).

O processador 10 calcula as magnitudes de cada componente da aceleração  $A$  e compara-as para identificar o componente com a magnitude mais alta.

A seguir, o eixo ( $x_a$ ,  $y_a$  ou  $z_a$ ) com o componente que tem a magnitude mais alta é indicado como  $z_a$ , e os outros dois eixos são indicados como  $x_a'$  e  $y_a'$ . Desse modo, é possível que a orientação do acelerômetro 8 seja determinada, não obstante a posição inicial do acelerômetro 8. Por exemplo, embora se pretenda que o eixo  $z_a$  corresponda a um eixo orientado verticalmente na estrutura de referência fixa, o acelerômetro 8 não pode ser fixado ao usuário 4 dessa maneira (pode ser que o eixo  $y_a$  corresponda de modo mais próximo ao eixo orientado verticalmente na estrutura de referência fixa).

Deve ser notado que na Figura 4 o eixo com o mais alto componente de aceleração é  $z_a$ , então esse eixo é indicado como  $z_a'$ , e o componente mais alto de aceleração é  $A_z$ .

O processador 10 então determina o ângulo entre a aceleração  $A$  e o eixo com o componente mais alto de aceleração ( $z_a'$ ). Desse modo, pode ser visto na Figura 4 que o ângulo,  $\theta$ , é fornecido por:

$$\theta = \arctan \left[ \frac{\sqrt{A_x^2 + A_y^2}}{A_z} \right]$$

Se todos os componentes da aceleração forem iguais a zero (isto é,  $A_x = A_y = A_z = 0$ ), então  $\theta$  e desse modo a orientação não podem ser estimados. Nessa situação, o acelerômetro-8 está em queda livre.

Desse modo, à medida que esse ângulo  $\theta$  é determinado utilizando a gravidade como referência, o ângulo  $\theta$  pode ser considerado como indicador da orientação do acelerômetro 8 e da unidade de sensor 2.

À medida que o acelerômetro 8 está livre para se mover com respeito à estrutura de referência fixa, é desejável verificar a instabilidade local causada por mudanças rápidas na aceleração. Dessa maneira, é possível compensar erros na orientação determinada causada por essas mudanças rápidas na aceleração. Em particular, a instabilidade local é verificada pelo processador 10 que computa a variação da norma dos componentes da aceleração  $A$  em um período de tempo.

Há vários sinais obtidos do acelerômetro 8 que representam a aceleração em vários instantes de amostragem. Esses instantes de amostragem ocorrem preferivelmente tanto antes quanto depois do instante de amostragem  $i$ , em que a orientação do acelerômetro 8 é calculada.

A variação da norma dos componentes da aceleração  $A$  é calculada utilizando:

$$\text{local\_instability}(i) = \text{var}_{i-b}^{i+a} \left( \sqrt{A_x(j)^2 + A_y(j)^2 + A_z(j)^2} \right) > \alpha \quad (2)$$

onde  $a$  é o número de instantes de amostragem após o instante de amostragem em que a orientação do acelerômetro 8 é calculada,  $b$  é o número de instantes de amostragem antes do instante de amostragem em que a orientação do acelerômetro 8 é calculada e  $\alpha$  é o valor que indica uma mudança rápida na aceleração.

O valor de  $\alpha$  é selecionado da faixa 15-20 m/s<sup>2</sup>, e  $a$  e  $b$  estão na região de 10.

Uma vez que o ângulo  $\theta$  tenha sido calculado, o processador 10 determina a aceleração em uma direção vertical em relação à estrutura de referência fixa.

Com referência novamente à Figura 3, o usuário 4 está na metade de um movimento do estado Sentado para Em pé, e a unidade de sensor 2 e o acelerômetro 8 estão orientados em um ângulo  $\theta$  da vertical. O eixo com o mais alto componente de aceleração ( $A_z$ ) é mostrado.

A aceleração na direção vertical é calculada a partir de:

$\text{acc\_vert} = (A_z - g \cos \theta) \cos \theta + g$ , se  $\theta > 0$  ou se houver instabilidade local(3)

$\text{acc\_vert} = (g \cos \theta - A_z) \cos \theta + g$ , se  $\theta < 0$  ou se não houver instabilidade local(4)

onde  $g$  é a magnitude de aceleração devido à gravidade na direção vertical. Deve ser apreciado que  $\theta < 0$  nas Figuras 3 e 4.

A força ou a resistência utilizadas em um movimento na direção vertical podem ser calculadas utilizando o método mostrado na Figura 5.

Na etapa 101, uma série de medições ou estimativas de aceleração experimentadas pelo usuário 4 na direção vertical (na estrutura de referência fixa) são obtidas do acelerômetro 8. Tal como mencionado acima, as estimativas de  
 5 aceleração na direção vertical podem ser obtidas de uma unidade de sensor 2 cujo único sensor é um acelerômetro 8, ou de uma unidade de sensor 2 que inclua um acelerômetro, um giroscópio e/ou um magnetômetro.

Nas realizações preferidas, as acelerações  
 10 verticais podem ser submetidas a um filtro passa-baixa, por exemplo, um filtro Butterworth, com uma frequência de corte em torno de 2 Hz.

Então, na etapa 103, a força vertical de reação do solo,  $F_{gr}$ , como uma função do tempo, tal como mostrado na  
 15 Figura 3, é estimada a partir de

$$F_{gr}(t) = (acc\_vert(t) + g) * m(5)$$

onde  $g$  é a aceleração devido à gravidade, e  $m$  é a massa do usuário 4.

Em seguida, na etapa 105, as séries de medições ou  
 20 estimativas de aceleração vertical são integradas com respeito ao tempo para obter a velocidade vertical durante o movimento. Desse modo, a velocidade vertical,  $vel\_vert(t)$ , é determinada a partir de

$$vel\_vert(t) = \int (acc\_vert(t)) dt(6)$$

25 os pontos iniciais e finais da integração são determinados com as medições do acelerômetro 8. O ponto inicial pode ser identificado como o ponto em que a aceleração vertical começa a variar após um período de tempo em um estado constante (por exemplo, a aceleração vertical  
 30 pode começar a variar de um valor zero ou da gravidade). O ponto final pode ser identificado como o ponto em que a aceleração vertical recomeça um estado constante após um período de movimento (por exemplo, a aceleração vertical pode

retornar a zero ou à gravidade). O processador 10 pode determinar os pontos iniciais e finais examinando as medições da aceleração vertical.

Finalmente, na etapa 107, a força utilizada durante o movimento vertical é calculada utilizando:

$$\text{Força}(t) = F_{gr}(t) * \text{vel\_vert}(t) \quad (7)$$

A força de reação do solo e a força determinada com a série de medições da aceleração vertical formam uma série de tempos, que pode ser traçada como um gráfico no tempo.

Então também é possível determinar a força instantânea máxima ou a taxa de carregamento máximo da força.

Deve ser apreciado que a única entrada ao método descrito é o conjunto de medições da aceleração vertical. Desse modo, em vez de executar separadamente as etapas 103, 105 e 107, essas etapas podem ser combinadas em uma única etapa em que a força é estimada. Neste caso, o processador 10 irá avaliar:

$$\text{Força}(t) = m * (\text{acc\_vert}(t) + g) * \int (\text{acc\_vert}(t)) dt$$

(8)

O método de acordo com a invenção pode ser utilizado em qualquer unidade de sensor fixada ao corpo que inclui um acelerômetro, por exemplo, detectores de queda e dispositivos para monitoramento e avaliação da atividade, para estimar ou determinar a força utilizada no movimento para passar do estado Sentado para Em pé. Essa estimativa de força pode fornecer uma medida de desempenho física para avaliar a qualidade do equilíbrio e o risco de queda. Em um cenário de prestação de serviços de saúde em domicílio, este método permite que um fornecedor de serviços de saúde monitore a qualidade do equilíbrio dos usuários ou o risco de quedas de uma maneira discreta.

Enquanto a estimativa de força é baseada na medição do movimento do centro da massa do usuário 4, a exatidão da

estimativa da força pode ser melhorada ao colocar a unidade de sensor 2 tão perto do centro da massa do usuário 4 quanto possível. Por exemplo, a unidade de sensor 2 é colocada preferivelmente perto da pélvis ou do tronco inferior do usuário 4.

Uma melhoria adicional à estimativa da força pode ser obtida colocando acelerômetros em duas ou mais partes do corpo do usuário 4. Por exemplo, isso pode ser conseguido colocando duas unidades de sensor 2, sendo uma unidade de sensor 2 colocada no esterno e a outra unidade de sensor 2 colocada na pélvis. Nessa realização, uma das unidades de sensor 2 irá precisar receber as medições da(s) outra(s) unidade(s) de sensor 2 a fim de calcular a força utilizada.

Durante movimentos verticais em particular, essas unidades de sensor 2 irão gravar acelerações diferentes, e assim uma média ponderada das medições do acelerômetro é calculada para uso no algoritmo de estimativa da força. Efetivamente, a média ponderada das acelerações representa a aceleração que age em um centro virtual da posição da massa no usuário 4. Preferivelmente, esta média ponderada é fornecida por:

$$a_{\text{centrodamassa}} = B \cdot a_{\text{pélvis}} + C \cdot a_{\text{esterno}} \quad (9)$$

onde B e C são constantes.

Em uma realização, as constantes B e C apresentam valores de 0,603 e 0,397, respectivamente, tal como descrito em "Biomechanics and Motor Control of Human Movement", de Winter, D.A.

Em uma realização alternativa da invenção, em vez de processar as medições de aceleração no processador 10 da unidade de sensor 2, a unidade de sensor 2 ou as unidades de sensor 2 podem medir a aceleração e transmitir essas medições a uma unidade-base separada que executa os cálculos

necessários para estimar a força utilizada durante o movimento.

Uma vez que a unidade de sensor 2 é pequena e fácil de utilizar, ela pode ser utilizada por um longo período de tempo (em relação ao período de tempo possível em um ajuste clínico) para quantificar a força ou a resistência durante um tipo particular de movimento do corpo, tal como o movimento para passar do estado Sentado para Em pé. A força ou a resistência podem ser medidas de uma forma discreta, e os métodos descritos acima fornecem uma exatidão similar aos sistemas de medições clínicos.

Embora a invenção tenha sido ilustrada e descrita em detalhes nos desenhos e na descrição anteriores, a ilustração e a descrição devem ser consideradas ilustrativas ou exemplificadoras, e não restritivas; a invenção não é limitada às realizações apresentadas.

As variações nas realizações apresentadas podem ser compreendidas e efetuadas pelos técnicos no assunto de praticar a invenção reivindicada a partir de um estudo dos desenhos, da descrição e das reivindicações anexas. Nas reivindicações, a palavra "que compreende" não exclui outros elementos ou etapas, e o artigo indefinido "um" ou "uma" não exclui uma pluralidade. Um único processador ou outra unidade podem cumprir as funções dos vários itens descritos nas reivindicações. O mero fato de que certas medições são indicadas nas reivindicações dependentes mutuamente diferentes não indica que uma combinação dessas medições não possa ser utilizada com vantagem. Um programa de computador pode ser armazenado/distribuído em uma mídia apropriada, tal como uma mídia de armazenagem óptica ou uma mídia de estado sólido fornecida junto ou como parte de outro hardware, mas também pode ser distribuída de outras formas, tal como via Internet ou outros sistemas de telecomunicação com ou sem

fio. Nenhum sinal de referência nas reivindicações deve ser interpretado como limitador do âmbito.

REIVINDICAÇÕES

1. APARELHO PARA ESTIMAR A FORÇA UTILIZADA POR UM USUÁRIO AO EXECUTAR O COMPONENTE VERTICAL DE UM MOVIMENTO, em que o aparelho compreende:

5 um acelerômetro (8) para fixação a um usuário (4) para medir a aceleração experimentada pelo usuário;

o aparelho compreende adicionalmente:

um processador (10) configurado para:

10 - receber as medições de aceleração do acelerômetro fixado ao usuário;

- estimar as acelerações verticais das medições recebidas; e

- estimar a força utilizada a partir das acelerações verticais,

15 caracterizado pelo fato de que

o acelerômetro é configurado para medir a aceleração ao longo de três eixos ortogonais,

o processador também é configurado para estimar a orientação do acelerômetro ao calcular o ângulo  $\theta$  entre a  
20 aceleração vertical e o eixo do acelerômetro que tem a mais alta magnitude de aceleração.

2. APARELHO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o processador (10) é configurado para estimar a força utilizada a partir das  
25 acelerações verticais ao avaliar:

$$\text{Força}(t) = m \cdot (\text{acc\_vert}(t) + g) \cdot \int (\text{acc\_vert}(t)) dt$$

onde  $m$  é a massa do usuário,  $\text{acc\_vert}(t)$  é a aceleração vertical em um momento  $t$  e  $g$  é a aceleração devido à gravidade.

30 3. APARELHO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o processador (10) é configurado para estimar a força utilizada a partir das acelerações verticais ao:

- estimar a força de reação do solo, e a estimativa é determinada a partir da estimativa da aceleração vertical;

- estimar a velocidade vertical ao integrar as estimativas da aceleração vertical com o tempo necessário para executar o movimento; e

- estimar a força utilizada a partir da estimativa da força de reação do solo e da estimativa da velocidade vertical.

4. APARELHO, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que o processador (10) é configurado para estimar a força utilizada ao multiplicar a estimativa da força de reação do solo e a estimativa da velocidade vertical.

5. APARELHO, de acordo com as reivindicações 3 ou 4, caracterizado pelo fato de que o processador (10) é configurado para estimar a força de reação do solo a partir de:

$$F_{gr}(t) = (acc\_vert(t) + g) * m$$

onde m é a massa do usuário e acc\_vert(t) é a aceleração vertical em um momento t.

6. APARELHO, de acordo com as reivindicações de 3 a 5, caracterizado pelo fato de que o processador (10) é configurado para estimar a velocidade vertical a partir de

$$vel\_vert(t) = \int (acc\_vert(t)) dt$$

onde acc\_vert(t) é a aceleração vertical em um momento t.

7. APARELHO, de acordo com as reivindicações de 1 a 6, caracterizado pelo fato de que o processador (10) é configurado para calcular o ângulo  $\theta$  entre a aceleração vertical e o eixo do acelerômetro (8) que tem a mais alta magnitude de aceleração A ao:

- calcular a magnitude de cada componente da aceleração A a partir dos sinais que indicam os componentes

da aceleração  $A_x$ ,  $A_y$  e  $A_z$  ao longo dos três eixos ortogonais  $x_a$ ,  $y_a$  ou  $z_a$  do acelerômetro;

- identificar o componente  $A_z$  com a magnitude mais alta;

5 - determinar o ângulo entre a aceleração vertical e o eixo com o componente mais alto da aceleração a partir de

$$\theta = \arctan \left[ \frac{\sqrt{A_x^2 + A_y^2}}{A_z} \right]$$

onde  $A_x$  e  $A_y$  são os outros componentes de aceleração ao longo dos três eixos ortogonais.

10 8. APARELHO, de acordo com as reivindicações de 1 a 7, caracterizado pelo fato de que o processador (10) e o acelerômetro (8) são integrados em uma única unidade para fixação ao usuário (4).

15 9. APARELHO, de acordo com as reivindicações de 1 a 7, caracterizado pelo fato de que o aparelho compreende uma pluralidade de acelerômetros para fixação às respectivas partes do corpo do usuário (4).

20 10. APARELHO, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que o processador (10) é configurado para receber as medições da aceleração da pluralidade de acelerômetros fixados ao usuário (4) e para determinar uma estimativa da aceleração do centro da massa do usuário a partir das medições.

25 11. APARELHO, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que a estimativa da aceleração do centro da massa do usuário é determinada a partir de uma média ponderada das medições da pluralidade de acelerômetros.

30 12. APARELHO, de acordo com as reivindicações de 1 a 11, caracterizado pelo fato de que o aparelho estima a força utilizada por um usuário (4) ao executar movimento de passar do estado Sentado ao estado Em pé.

13. MÉTODO PARA ESTIMAR A FORÇA UTILIZADA POR UM USUÁRIO AO EXECUTAR O COMPONENTE VERTICAL DE UM MOVIMENTO, em que o método é caracterizado pelo fato de compreender:

- a obtenção das medições da aceleração vertical experimentada pelo usuário ao executar o movimento a partir de um acelerômetro (8) fixado ao usuário, e o acelerômetro mede a aceleração ao longo de três eixos ortogonais;
- a estimativa da orientação do acelerômetro ao calcular o ângulo  $\theta$  entre a aceleração vertical e o eixo do acelerômetro que tem a mais alta magnitude de aceleração e
- a determinação de uma estimativa da força utilizada a partir das medições da aceleração vertical.

14. PRODUTO DE PROGRAMA DE COMPUTADOR, caracterizado pelo fato de compreender um código de programa de computador que, quando executado em um computador ou em um processador (10) associado com um acelerômetro (8) fixado a um usuário (4), estima a força utilizada por um usuário ao realizar o componente vertical de um movimento ao executar o método conforme definido na reivindicação 13.

1/3

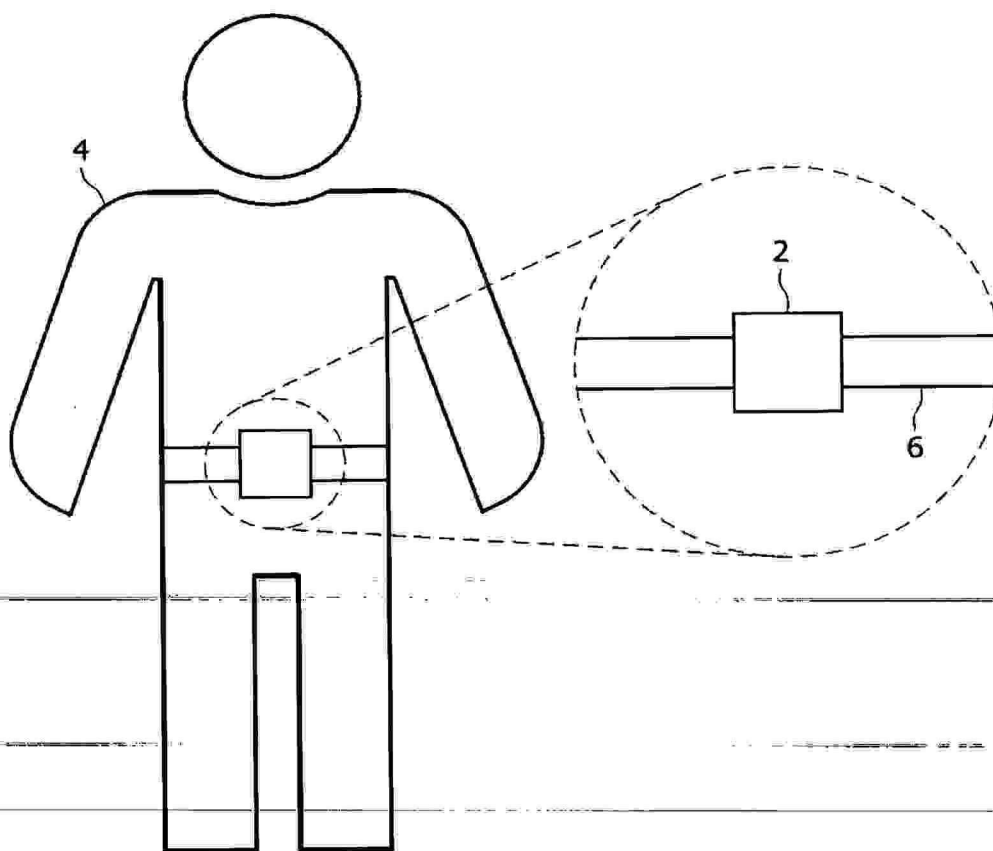


FIG. 1

2/3

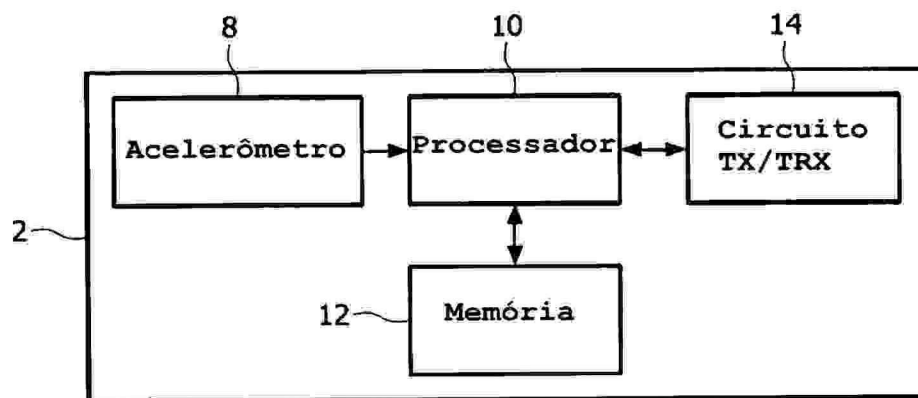


FIG. 2

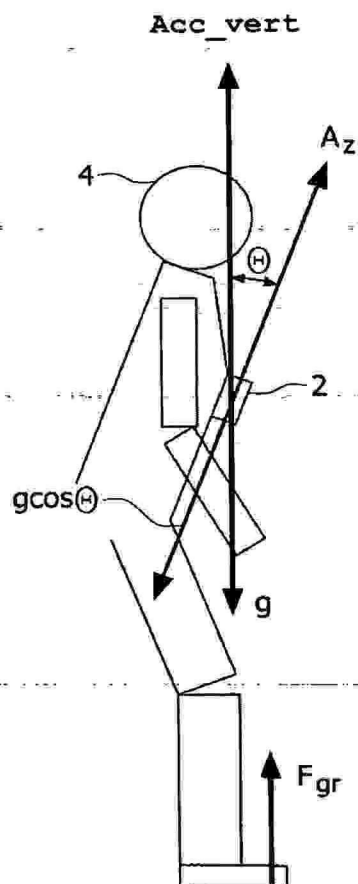


FIG. 3

3/3

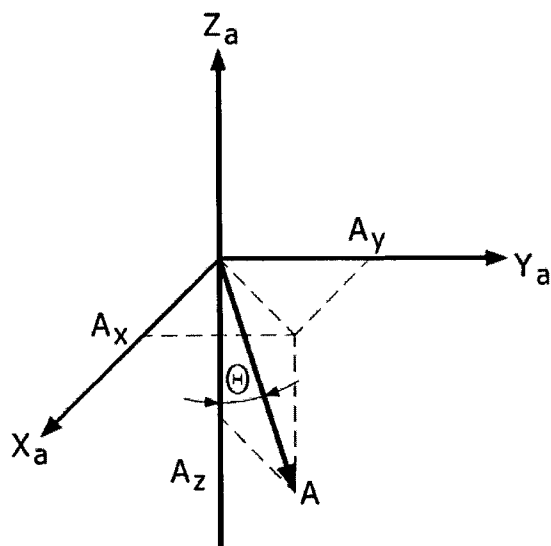


FIG. 4

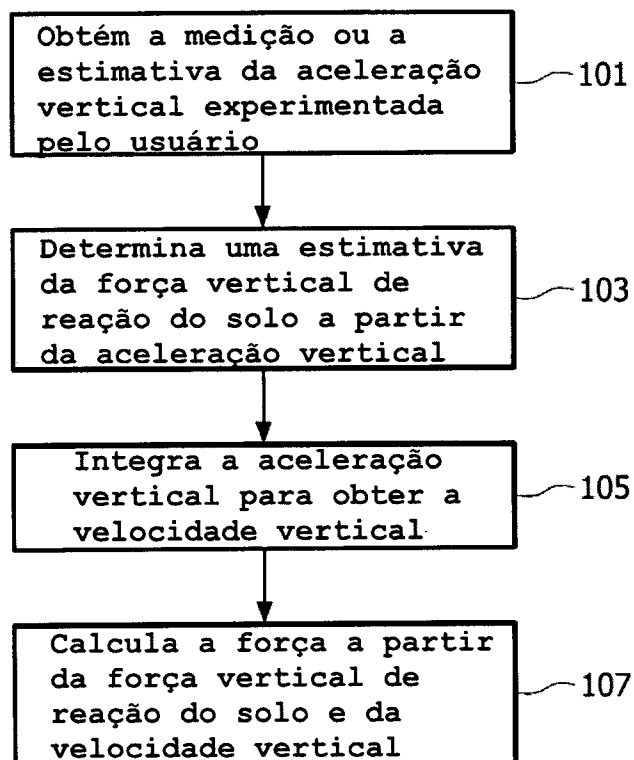


FIG. 5

RESUMO

APARELHO PARA ESTIMAR A FORÇA UTILIZADA POR UM  
USUÁRIO AO EXECUTAR O COMPONENTE VERTICAL DE UM MOVIMENTO,  
MÉTODO PARA ESTIMAR A FORÇA UTILIZADA POR UM USUÁRIO AO  
5 EXECUTAR O COMPONENTE VERTICAL DE UM MOVIMENTO E PRODUTO DE  
PROGRAMA DE COMPUTADOR

É apresentado um aparelho para estimar a força  
utilizada por um usuário ao executar o componente vertical de  
um movimento, e o aparelho compreende um acelerômetro para  
10 fixação a um usuário que mede a aceleração experimentada pelo  
usuário; o aparelho compreende adicionalmente um processador  
configurado para receber as medições de aceleração do  
acelerômetro fixado ao usuário; para estimar as acelerações  
verticais a partir das medições recebidas; e para estimar a  
15 força utilizada a partir das acelerações verticais.