

Volúmetro com câmaras comunicantes: apresentação de um protótipo de dimensões reduzidas desenvolvido para a avaliação objetiva do volume de mão

Volumeter with communicating chambers: presentation of a prototype with reduced dimensions developed for objective assessment of hand volume

Rogério Mendonça de Carvalho¹, Maria del Carmen Janeiro Perez², Fausto Miranda Júnior³

Resumo

A volumetria tradicional por deslocamento de água, que utiliza o princípio do transbordamento de Arquimedes, é considerada o padrão-ouro da avaliação do volume de membros, porém tem seu uso rotineiro prescindido por apresentar uma série de desvantagens: o método é embaraçoso ao paciente, pouco prático e desprovido de higiene, além de consumir muito tempo do examinador. Este artigo apresenta o protótipo de um aparelho inédito que utiliza o princípio dos vasos comunicantes de Pascal para a avaliação direta do volume de mão.

Palavras-chave: Pletismografia, equipamentos de medição, extremidades, avaliação da tecnologia biomédica.

Abstract

Traditional water displacement volumetry, based on Archimedes' principle of buoyancy, is considered the gold-standard for limb volume measurement. However, the routine use of this technique is associated with a series of disadvantages: the method is cumbersome to the patient, messy and unhygienic, and it takes a great amount of the examiner's time. This article presents the prototype of a new piece of equipment designed according to Pascal's principle of communicating vases for the direct evaluation of hand volume.

Keywords: Plethysmography, measurement equipment, extremities, biomedical technology assessment.

Introdução

Com o aumento da necessidade de se validar a efetividade terapêutica, mensurações objetivas são essenciais no cuidado atual da saúde¹. O método clássico de volumetria por deslocamento de água, no qual o membro é lentamente introduzido em tanque cheio de água e o volume transbordado é medido, tem muitas desvantagens: não é prático e exige muitos manuseios com a água, aumentando dessa forma a possibilidade de erros; não pode ser usado em casos de feridas abertas ou com curativos e infecção de pele; pode causar constrangimento, sendo pouco higiênico e possibilitando, assim, a transmissão de infecções²⁻⁶.

O termo “medida direta” é impróprio para o transbordamento, uma vez que o método necessita da transferência do líquido derramado para outros recipientes, ou mesmo da pesagem do conteúdo deslocado, com a sua equivalência em unidades de massa. Ainda que a reprodutibilidade de métodos indiretos seja satisfatória, ao se tomar parâmetros de normalidade como referência para a indicação ou contra-indicação de técnicas de tratamento, corre-se o risco de tratar membros normais superestimados ou ainda de negligenciar atendimento a segmentos de volume aumentado que tenham eventualmente sido avaliados como normovolumétricos⁷.

O protótipo de um novo aparelho para antropometria apendicular, ora apresentado em dimensões reduzidas para

Trabalho aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Escola Paulista de Medicina - Universidade Federal de São Paulo, sob protocolo CEP nº 1600/04.

¹ Mestre em Ciências da Saúde, Escola Paulista de Medicina - Universidade Federal de São Paulo (EPM-UNIFESP), São Paulo, SP.

² Professora Adjunta, Disciplina de Cirurgia Vascular, EPM-UNIFESP, São Paulo, SP.

³ Professor Titular, Disciplina de Cirurgia Vascular, EPM-UNIFESP, São Paulo, SP.

Os autores deste artigo têm participação na patente do produto descrito. Patente devidamente depositada no INPI sob PI nº 0502899-0 (Núcleo de Propriedade Intelectual da UNIFESP).

Bolsa de auxílio-pesquisa da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo nº 05/55240-0.

Artigo submetido em 28.01.09, aceito em 08.02.10.

J Vasc Bras. 2010;9(2):76-80.

a volumetria do segmento punho-mão, foi desenvolvido para suprir a necessidade³ de uma ferramenta alternativa à tradicional que utiliza o princípio do transbordamento. Trata-se de um volúmetro com câmaras comunicantes, cujo funcionamento está baseado na lei de Pascal dos vasos comunicantes e na lei de Stevin que relaciona pressão e colunas de água de diferentes superfícies.

O princípio da transmissão de fluxo entre compartimentos, ao contrário do transbordamento, permite leituras volumétricas repetitivas, reversíveis, dinâmicas e concomitantes à introdução do segmento, possibilitando também a avaliação de diferentes níveis anatômicos, inclusive da totalidade do membro até a região articular gleno-umeral ou coxo-femoral, em um mesmo momento procedimental. O protótipo que mensura todo o membro está em fase de teste para aplicação clínica.

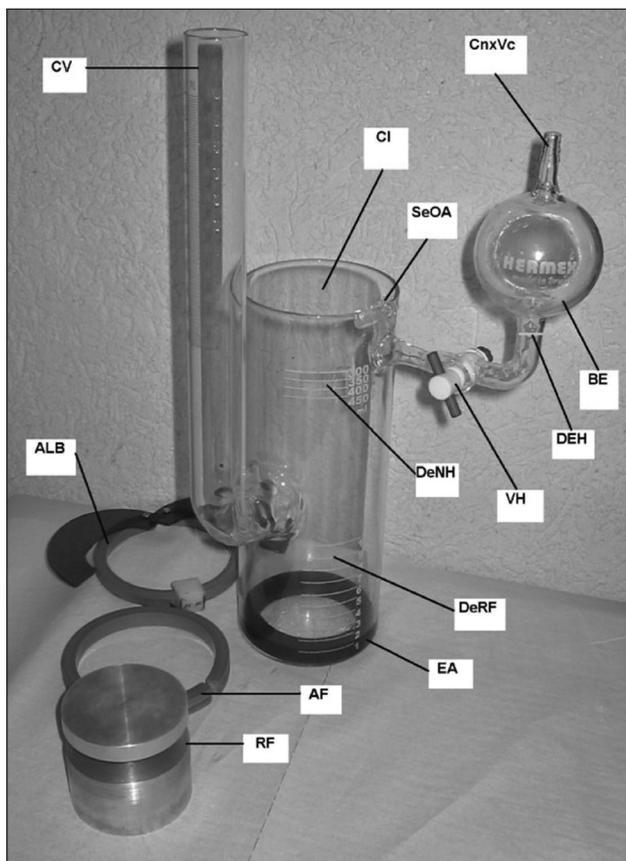


Figura 1 - Fotografia do protótipo do volúmetro com câmaras comunicantes mostrando, em sentido horário: CI = cuba de imersão; SeOA = série de orifícios aspiradores; CnxVc = conexão para unidade de vácuo; BE = balão esférico; DEH = demarcação de equilíbrio hidrostático; VH = válvula hidrostática; DeNH = demarcações de níveis hidrostáticos; DeRF = demarcações para o referencial de fundo; EA = espuma adesiva; AF = anel de fixação; RF = referencial de fundo; ALB = anel limitador de borda; CV = coluna volumétrica

Descrição do equipamento

O protótipo foi construído em vidro, de fabricação encomendada sob desenho técnico dos patenteadores.

O aparato é composto pelo conjunto de três câmaras comunicantes (Figura 1), sendo uma cuba de imersão (CI) para a mão, uma coluna volumétrica e um balão para sucção de resíduos aéreos, todas formando um sistema hermético durante a avaliação do segmento, o qual é protegido por luva a ser acoplada à CI, vedando-se, assim, a abertura de introdução da mão.

Pares de luvas com diferenciação ambidestra de formatos anatômicos servem de interface entre o segmento avaliado e a água da CI. Para fins de padronização do volume acrescido pelo paramento, o mesmo paciente avaliado deve utilizar luvas de numeração compatível, sendo fixa entre exames ocorridos em tempos distintos.

Dois anéis confeccionados em policloreto de vinila (PVC) e acrílico, um chanfrado para fixação da borda da luva e outro para limitar a expansão superior da luva, são utilizados como dispositivos acopláveis à borda superior da CI (Figura 1).

Um dispositivo confeccionado em material metálico inoxidável e leve (alumínio), de formato cilíndrico, com plataforma superior elevadora rosqueável a partir de 5,5 cm da base da CI, é fixado no interior dessa base, com espuma adesiva, para servir como referencial de fundo (RF) limitante da submersão do segmento punho-mão.

Um termômetro analógico submersível é fixado por ventosa à parede interna da CI com a finalidade de monitorar a temperatura da água durante as medições. Como fontes de vácuo, podem ser utilizados aparelhos aspiradores traqueais portáteis de uso domiciliar ou fluxômetros de vácuo quando disponíveis em ambiente ambulatorial ou hospitalar.

O aparelho (Figura 2) possui as seguintes dimensões: CI cilíndrica com 100 mm de diâmetro interno por 250 mm de altura, marcações de taragem do nível hidrostático em mL a partir da borda superior da cuba (300, 350, 400 e 450) e de RF em cm a partir de sua borda inferior (1 a 10).

A 150 mm de altura a partir da base da CI, fixa-se, comunicante ao seu interior e em sua parede externa, uma coluna volumétrica cilíndrica, com resolução de 1 mL, de 30 mm de diâmetro interno com 175 mm de porção graduada em mL em relação ao nível da borda superior da cuba (0 a 100). Um balão esférico para sucção de ar remanescente entre a luva e a água no momento da submersão do segmento punho-mão, também em vidro, com 66 mm de diâmetro interno e 150 mL de capacidade, fixa-se

comunicante ao interior e na parede externa da CI, com válvula hidrostática intermediária e conexão para unidade de vácuo em seu topo.

Um braço cilíndrico de comunicação intermediária, onde se localiza a válvula hidrostática, parte da base do balão, curva-se a 90° 18 mm abaixo da borda superior da cuba e prolonga-se internamente arremetendo novamente a 90° rente à parede interna do cilindro maior e desembocando próximo à abertura de introdução do segmento corpóreo, em série de pequenos furos de 6 mm de distância entre cada um, ao longo de 50 mm da curvatura de imersão (Figura 3).

Método de medida

A sequência de procedimentos para a medição volumétrica segmentar com o protótipo é descrita a seguir.

Primeiramente, a pessoa a ser avaliada é orientada a retirar quaisquer adereços tais como relógios, pulseiras ou anéis das mãos, punhos e quirodáctilos. Após esse momento, o avaliador pede ao avaliado que calce a luva na mão a ser medida, submergindo-a parcialmente na CI de acordo com o nível hidrostático de taragem individual estabelecido. O anel limitador de borda é então posicionado acima do anel de fixação previamente acoplado à borda superior da CI.

Nesse momento, o avaliador pede ao avaliado que fixe a mão no nível de submersão parcial acima descrito para que ele possa encaixar a borda da luva na chanfradura do anel de fixação. O anel limitador de borda, com suas folhas acrílicas abertas, é, então, também acoplado à borda superior do cilindro maior, sobre a luva encaixada e em posição

superior ao anel de fixação. O ar remanescente entre a luva e a água da cuba é, consecutivamente, retirado pelo acionamento do gerador de vácuo conectado ao topo do balão esférico por um prolongamento de látex. Para tanto, a válvula intermediária deve estar aberta.

Retirado o ar remanescente, aguarda-se o restabelecimento do equilíbrio hidrostático entre as três câmaras (balão esférico, CI e coluna graduada), com o abaixamento do nível hídrico por ação gravitacional e de movimentos suaves de imersão e emersão alternados do segmento punho-mão, orientados pelo avaliador.

O abaixamento da coluna d'água deve ser permitido até a demarcação de equilíbrio hidrostático, na parte do braço cilíndrico imediatamente inferior ao balão esférico, quando há formação de menisco, sendo fechada a válvula a esse tempo.

Fecham-se as folhas acrílicas do anel limitador de borda e o avaliado é então solicitado a submergir seu segmento punho-mão até que a extremidade distal do terceiro quirodáctilo toque o centro da plataforma superior do RF (Figura 4).

Procede-se, por fim, à coleta das leituras volumétricas.

Discussão

A aferição do volume de membro utilizando-se o volúmetro com câmaras comunicantes traz as seguintes características vantajosas em relação à tradicional volumetria por transbordamento:

- 1) O tempo necessário para a avaliação coincide com o tempo de imersão do conjunto luva-mão na água da cuba, que pode ser reutilizada, sendo necessária apenas

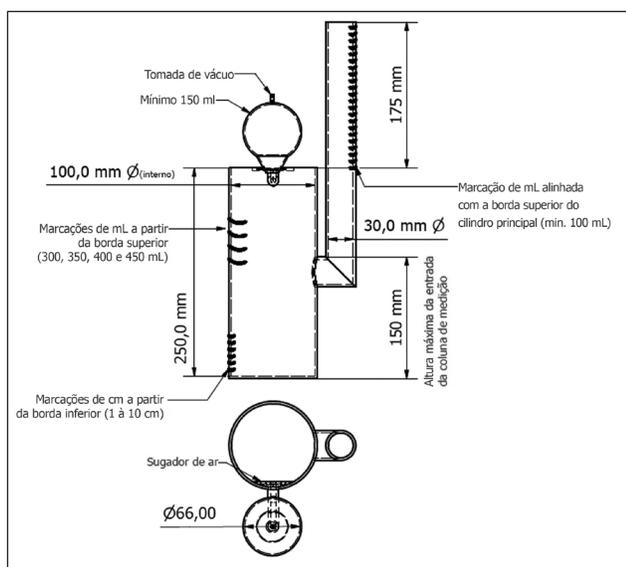


Figura 2 - Perspectivas frontal (acima) e superior (abaixo) do volúmetro com câmaras comunicantes e suas respectivas dimensões em milímetros

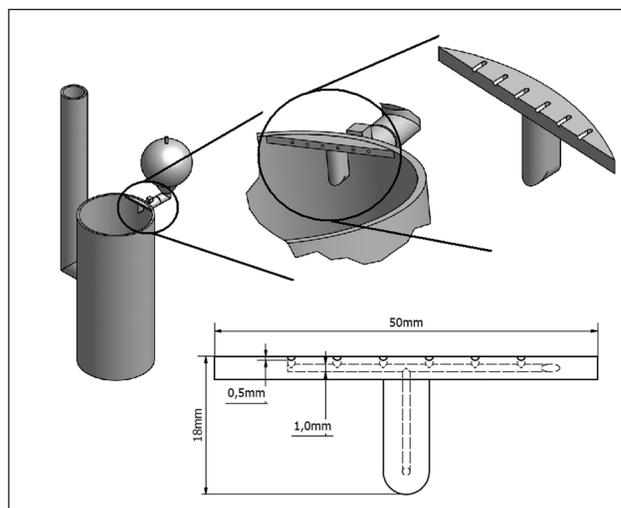


Figura 3 - Representação esquemática em detalhamento de aumentos sucessivos da série de orifícios aspiradores do volúmetro com câmaras comunicantes (desenhos tridimensionais acima) e suas respectivas dimensões em perspectiva frontal (desenho unidimensional abaixo)

a reposição esporádica de conteúdos evaporados pela abertura da coluna volumétrica. Como o princípio físico aqui utilizado é o deslocamento de água por transmissão de fluxo entre recipientes conectados, e não o transbordamento, a leitura volumétrica é fornecida de maneira imediata e a cada porção de segmento imersa, analogamente ao que ocorre em uma balança para medição de massa corporal.

- 2) Padronização do método pelo controle rígido das variáveis envolvidas, como temperatura da água, perdas volumétricas e porção imersa do segmento.
- 3) Provê conforto ao paciente, que, tendo sua mão inserida em um envoltório (luva), não entra em contato direto com a água da CI, evitando ainda a sensação desagradável de um contraste térmico. a) As características fisiológicas normais de trânsito do edema e reatividade do sistema vascular são mantidas, com a temperatura da água de imersão sendo mantida entre 20 e 32 °C⁸ e devido também ao tempo reduzido de avaliação e à proteção de interface que a luva faz entre o membro do paciente e a água. b) Evitam-se riscos de infecção cutânea, por não haver contato direto do membro acometido com a água de imersão.



Figura 4 - Fotografia mostrando o volúmetro com câmaras comunicantes em situação hermética para a coleta de medidas segmentares, encontrando-se vedado pela luva e anéis limitadores de borda e de fixação, bem como o posicionamento da mão a ser adotado durante sua submersão para a leitura volumétrica

- 4) A técnica proposta virtualmente anula perdas volumétricas, por se tratar de um sistema de imersão hermético. O acoplamento de pequena bomba de sucção geradora de vácuo (podendo ainda ser utilizado o vácuo de rede, em caso de ambiente hospitalar) evita a leitura indesejável de volumes aprisionados no espaço existente entre a luva e a água.
- 5) Possibilita melhor interface de cooptação, pois a borda do nível de água coincide com a borda da própria cuba durante as leituras volumétricas, sem haver transbordamento.
- 6) Presença perene do aparelho no local de exame, não necessitando ser deslocado, a cada avaliação, para esvaziamento, antisepsia ou reabastecimento.
- 7) Manutenção da limpeza do ambiente ambulatorial, minimizando riscos de derramamento e respingos de água no chão do ambiente, uma vez que todo fluxo de água transita dentro do aparelho.
- 8) Fornecimento de medidas diretas (o conteúdo deslocado de água não precisa ser transferido para outros recipientes), dinâmicas (por motivo já explicitado no item 1) e repetitivas (a verificação do volume lido para dada porção do membro pode ser reavaliada durante o mesmo momento procedimental, bastando, para isso, solicitar ao paciente que emerja seu membro e, após, submerja-o ao mesmo ponto).

Agradecimentos

Ao engenheiro Cristiano Campos de Queiroz e ao técnico de engenharia Wilson Adriani Filho, por suas inestimáveis contribuições técnicas durante a construção do presente invento. A Alexandre Galvão Patriota, pela análise estatística dos dados do estudo.

Referências

1. Farrell K, Johnson A, Duncan H, Offenbacker T, Curry C. The intertester and intratester reliability of hand volumetrics. *J Hand Ther.* 2003;16:292-9.
2. Stanton AWB, Badger C, Sitzia J. Non-invasive assessment of the lymphoedematous limb. *Lymphology.* 2000;33:122-35.
3. Megens MM, Harris SR, Kim-Sing C, McKenzie DC. Measurement of upper extremity volume in women after axillary dissection for breast cancer. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001;82:1639-44.
4. Sander AP, Hajer NM, Hemenway K, Miller AC. Upper-extremity volume measurements in women with lymphedema: a comparison of measurements obtained via water displacement with geometrically determined volume. *Phys Ther.* 2002;82:1201-12.
5. Man IOW, Markland KL, Morrissey MC. The validity and reliability of the perometer in evaluating human knee volume. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2004;24:352-8.

6. Damstra RJ, Glazenburg EJ, Hop WCJ. Validation of the inverse water volumetry method: a new gold standard for arm volume measurements. *Breast Cancer Res Treat.* 2006;99:267-73.
7. Carvalho RM. Métodos de avaliação objetiva do volume de membros: o transbordamento de Arquimedes é mesmo o padrão-ouro da literatura? [Dissertação]. São Paulo: Centro Brasileiro de Estudos Sistêmicos; 2007.
8. Boland RA, Adams RD. Development and evaluation of a precision forearm and hand volumeter and measuring cylinder. *J Hand Ther.* 1996;9:349-58.

Correspondência:
Fausto Miranda Júnior
Rua Estela, 515, bloco G, conj 81

CEP 04011-002 – São Paulo, SP
Tel.: (11) 5576-4070, (11) 8555-7205
Fax: (11) 5571-4785
E-mail: fmirandajr.dcir@epm.br

Contribuições dos autores:

Concepção e desenho do estudo: RMC, MCJP, FMJ
Análise e interpretação dos dados: RMC, MCJP, FMJ
Coleta de dados: RMC
Redação do artigo: RMC
Revisão crítica do texto: MCJP, FMJ
Aprovação final do artigo*: RMC, MCJP, FMJ
Análise estatística: AGP
Responsabilidade geral pelo estudo: FMJ
Informações sobre financiamento: FAPESP

* Todos os autores leram e aprovaram a versão final submetida ao J Vasc Bras.