AUTORES:Marcelo Peduzzi de Castro ^{1,2}Denise Paschoal Soares ^{1,2}Leandro Machado ^{1,2}¹ CIFI²D, Faculdade de Desporto da Universidade do Porto, Porto, Portugal² LABIOME²P, Universidade do Porto, Porto, Portugal<https://doi.org/10.5628/rpcd.14.02.74>

Análise das pressões plantares durante a caminhada:

Uma revisão da literatura

PALAVRAS CHAVE:

Pressão plantar. Força plantar.

Baropodometria. Marcha. Caminhada. Pé.

SUBMISSÃO: 5 de Julho de 2013

ACEITAÇÃO: 31 de Agosto de 2014

RESUMO

No século XXI houve uma crescente utilização de sistemas de análises das pressões plantares para avaliação da caminhada. A tomada de decisão segura referente à abordagem metodológica mais adequada para uma determinada investigação torna-se difícil visto as diversas opções de sistemas, formatos, protocolos experimentais e variáveis dependentes disponíveis. O objetivo do presente estudo foi realizar uma revisão narrativa da literatura acerca dos sistemas para medir as pressões plantares durante a caminhada humana, onde as motivações para uso dos sistemas, seus aspectos metodológicos e o perfil das pressões plantares descritos para diversas populações foram explorados. Três tópicos principais foram estabelecidos: principais objetivos dos estudos e participantes, aspectos metodológicos (protocolos experimentais, sistemas para análise das pressões plantares, divisão do pé, e variáveis analisadas), e perfil das pressões plantares em diferentes populações e condições de marcha (atletas de marcha atlética e caminhada nórdica, indivíduos com diabetes / neuropatia periférica, indivíduos com amputação transfemoral, indivíduos obesos e indivíduos a carregar mochilas). Dentre as principais linhas de atuação destes sistemas encontram-se a tentativa do estabelecimento de padrões de normalidade (participantes saudáveis); avaliação de dispositivos para alívio das pressões plantares excessivas; avalia-

ção pré e pós-intervenções terapêuticas, acompanhamento de pacientes, monitoramento das pressões plantares durante atividade física e análise ergonômica. A diversidade dos sistemas, protocolos experimentais, divisão do pé, forma de apresentação dos resultados e as conclusões controversas entre alguns estudos impedem o estabelecimento de um padrão de pressão plantar característico (comportamento e magnitude) durante a caminhada para as diversas populações estudadas, assim como, a influência exercida por diferentes abordagens metodológicas no padrão de pressão plantar não é consensual.

Analysis of plantar pressures

during walking:

A literature review

ABSTRACT

In the 21st century more and more researchers and clinicians have been used plantar pressure systems for gait analyses. Several kinds of systems, layouts, experimental protocols, outcomes, etc. make hard to determine the most appropriate methodological approach to be applied. The aim of this study was to review the literature which covers articles which used plantar pressure systems for human gait analysis. The motivations for using such systems, as well as their methods and main findings were explored. Three main topics were considered for analyses: main aims of the studies and participants, experimental protocols (experimental protocol, systems, foot division, and outcomes), and plantar pressure profile among populations and different gait conditions (racewalking athletes, Nordic walking, patients with diabetes / peripheral neuropathy, subjects with transfemoral amputation, obese people, and backpackers). It was noticed that the plantar pressure systems have been widely used for the assessment of gait. Among the main motivations for using these systems are to try to establish standards of normality, evaluation of devices to relieve excessive plantar pressures, pre and post therapeutic interventions, and monitoring plantar pressure in different populations of patients, during physical activity, and for ergonomics purposes. Overall, the diversity of systems, protocols for data collection, division of the foot, results presentation and the conflicting findings among some studies make difficult to determine a standard pattern of plantar pressure (behavior and magnitude) during gait in different populations, as well as the influence caused by different methodological approaches on the plantar pressure parameters is unclear.

KEY WORDS:

Plantar pressure. Plantar force. Baropodometry.

Plantar loading. Gait. Walking. Foot.

INTRODUÇÃO

Os sistemas para análise das pressões plantares ou, como também são chamados, os sistemas baropodométricos têm sido amplamente utilizados para estudar o pé e a caminhada humana ^(1,2,5-10,12,13,17,21,24,28,31,35-38,40,42-44,46-48,50,52,54,55,57-59,61,64,66-70,72-75). A avaliação das pressões plantares proporciona uma componente dinâmica da avaliação funcional, podendo fornecer assim informações durante as atividades onde, na população em geral, a maioria das lesões surgem; a caminhada é um exemplo destas atividades ⁽¹⁶⁾.

Estes instrumentos avaliam o efeito de mudanças estruturais, as quais podem ocorrer devido a complicações de patologias ⁽³⁰⁾ e, quando comparadas com medidas de populações sem qualquer disfunção, podem fornecer dados importantes para o processo de reabilitação, bem como, para verificar o resultado das mais variadas intervenções terapêuticas ^(13,70). Também apresenta aplicação no campo da ergonomia ao analisar a interação entre o pé e a palmilha ⁽⁸⁾ ou entre o homem e o equipamento ⁽⁷⁾; e no campo da atividade física ^(9,46) e desporto ^(56,72).

A pressão é calculada por meio da medição da componente vertical das forças de reação do solo e da área onde esta força é aplicada. A maior parte dos transdutores de força usados em contextos biológicos calcula a força a partir de medidas de deformação, causadas por uma força desconhecida em um material no qual as propriedades força/ deformação são conhecidas ^(10,16). Desta forma, os sensores de pressão são, essencialmente, transdutores de força que medem a força atuando numa superfície de área conhecida.

$$\text{PRESSÃO PLANTAR} = \text{COMPONENTE VERTICAL DA FORÇA} / \text{ÁREA}$$

A unidade padrão para pressão no Sistema Internacional de medidas é o Pascal (Pa), a qual corresponde à força de 1Newton (1N) aplicada uniformemente sobre a superfície de 1 metro quadrado (1m²), donde (Pa = 1N/ m²). Geralmente os valores de pressão plantar são apresentados em kilopascal (kPa), megapascal (MPa) ou Newton por centímetro quadrado (1N/ cm² = 10kPa) ⁽⁶³⁾.

Os sensores utilizados para a análise das pressões plantares encontram-se principalmente na conformação de plataformas de pressão ^(6,13,36,37,50,52,66) ou de palmilhas de pressão ^(7-9,29,43,44,47,54,61,67), mas ainda podem ser usados de maneira unitária ^(10,49,72), os quais são comumente colocados na região específica do pé a ser analisada. As palmilhas de pressão são mais utilizadas para verificação da pressão durante a utilização de calçado, fornecendo as medidas relativas à superfície plantar do pé em relação à palmilha do calçado; enquanto que a plataforma de pressão é mais utilizada para testes realizados sem calçado. Porém, há estudos com plataformas de pressão em que os indivíduos estão calçados ^(13,41), neste caso, os valores de pressão são referentes à sola do calçado.

Os sistemas apresentam características diferentes inerentes à natureza do seu formato (palmilha ou plataforma), porém têm sido utilizados de forma indiscriminada por clínicos e investigadores para medir parâmetros do pé ⁽¹⁹⁾. Desta forma, uma questão importante a ser pensada é a de quais são as diferenças de medição entre esses sistemas e se os resultados podem ser comparados ⁽¹⁹⁾. Neste contexto, a análise dos resultados de estudos que utilizaram diferentes sistemas poderia fornecer importantes informações sobre a relação entre os dados provenientes de dois ou mais aparelhos.

No século XXI houve uma crescente utilização de sistemas de análises das pressões plantares para avaliação da caminhada. As diversas opções de sistemas, formatos, protocolos, variáveis dependentes analisadas, etc. dificultam a tomada de decisão segura referente à abordagem metodológica ideal para uma determinada investigação. Além disso, conhecer o perfil de distribuição das pressões plantares em diferentes populações, e a influência que as diversas abordagens metodológicas podem apresentar nos valores de pressão plantar, parece-nos um importante ponto a ser explorado. Assim, uma síntese dos estudos que utilizam sistemas de medição das pressões plantares acompanhada por uma discussão dos métodos inerentes a tais análises, poderia ser útil no sentido de facilitar e guiar novos usuários, assim como apresentar novas opções, exemplos de aplicações e abordagens utilizadas para investigadores já experientes com tais técnicas. Um estudo desta natureza pode ser útil para identificar tópicos específicos, os quais devem ser aprofundados para uma melhor compreensão e aplicação dos sistemas de análise de pressões.

O objetivo do presente estudo foi realizar uma revisão da literatura, a qual abranja trabalhos que utilizaram sistemas para medir as pressões plantares durante a caminhada humana. Foram abordadas as motivações/ objetivos para a utilização desses sistemas, assim como aspectos metodológicos e o perfil da distribuição das pressões plantares entre diferentes populações. Além disso, artigos que se preocuparam maioritariamente com a análise aprofundada acerca de aspectos metodológicos relacionados a estes sistemas também foram explorados.

No sentido de identificar as motivações da utilização dos sistemas de análise das pressões plantares, assim como a forma como tais sistemas têm sido utilizados (aspectos metodológicos) e o padrão das pressões plantares em diversas populações e condições de marcha, três principais tópicos foram considerados para análises na presente revisão:

- Objetivos dos estudos e participantes;
- Aspectos metodológicos (protocolos experimentais, tipos de sistemas de pressão plantar, divisão do pé e variáveis analisadas);
- Perfil das pressões plantares em diferentes populações e diferentes condições de marcha.

DESENVOLVIMENTO

OBJETIVOS DOS ESTUDOS E PARTICIPANTES

Durante a análise da caminhada humana, os sistemas baropodométricos têm sido empregues para verificar as forças e pressões plantares em diferentes populações e com diferentes objetivos. No Quadro 1 encontra-se uma síntese dos principais artigos que apresentaram resultados originais incluídos no presente trabalho. Notam-se trabalhos com o objetivo de caracterizar o padrão de pressão plantar típico durante a caminhada de participantes saudáveis ^(31,36,44,70); onde foram analisados a influência que a cadência ou velocidade ⁽⁴⁴⁾, peso ^(1,9,15,44,50,55,74), uso de mochila ⁽⁷⁾, gênero ^(44,59,60) e intervenções, tais como a utilização de órteses ^(8,17,21,29,42,52,61), tênis ^(43,50,58,62) ou cunhas ^(54,71,75), assim como o efeito de técnicas de alteração da sensibilidade plantar ⁽³⁵⁾ sobre este padrão.

Autor / Ano	Sistema	Participantes	Objetivo	N° de regiões: regiões	Variáveis analisadas
Shibuya N et al. 2014	Plataforma (FDM-SX Noraxon U.S.A. - Inc, Scottsdale, Arizona)	46 com pé plano e 39 controlo	Identificar fatores de risco associados com pé plano usando um objetivo e rigoroso sistema de medição.	—	Curva de deslocamento do CoP
Castro MP et al. 2014a	Palmilha (F-Scan - Tekscan, South Boston, Massachusetts)	10 obesos e 20 mochileiros	Verificar o desempenho de 2 palmilhas desenvolvidas para aliviar as pressões plantares em sujeitos obesos e mochileiros	10: RP med, central e lat; MP med e lat; AP med, central e lat; dedos e hálux	Pico da pressão
Castro MP et al. 2014b	Palmilha (F-Scan - Tekscan, South Boston, Massachusetts)	17 com sobrepeso e 17 controlo	Analisar a distribuição das pressões plantares em sujeitos com índice de massa corporal > 30.	10: RP med, central e lat; MP med e lat; AP med, central e lat; dedos e hálux	Pico e instante do pico da pressão
Castro MP et al. 2014c	Plataforma 0,5 m (Footscan-Rsscan, Olen, Bélgica)	14 com amputação e 21 controlo	Descrever a distribuição das pressões plantares em pacientes com amputação transfemoral	6: RP med e lat; MP med e lat; AP med e lat	Pico e instante do pico da pressão
Chang BC et al. 2014	Palmilha (Pedar - Novel GmbH, Munich, Alemanha)	23 idosos com metatarsalgia	Investigar a efetividade e os mecanismos pelos quais palmilhas para redistribuição das pressões plantares agem em participantes idosos com metatarsalgia.	RP, MP, AP e hálux	Pico e integral da pressão, força máxima e área de contato
Fernandez-Seguin LM et al. 2014	Plataforma 2 m (Footscan-Rsscan, Olen, Bélgica)	34 com pé cavo e 34 controlo	Comparar a distribuição das pressões e área plantar entre sujeitos com pé cavo e neutro	9: RP: MP med e lat; AP-5 meta-tarsos, hálux e dedos	Pico da pressão e área de contato
Lane T et al. 2014	Palmilha (Pedar - Novel GmbH, Munich, Alemanha)	35 idosos com dor no ante-pé	Verificar a influência da rigidez da sola nas pressões plantares e conforto de idosos com dor no ante-pé.	3: RP, MP e AP	Pico da pressão, força máxima e área de contato
Lv X et al. 2014	Plataforma 0,5 m (Footscan-Rsscan, Olen, Bélgica)	60 pacientes com neuropatia periférica	Verificar o efeito do tratamento com terapia de caminhada para trás e ácido alfa lipoico na distribuição das pressões plantares em pacientes diabéticos	10: RP med e lat; MP med e lat; AP-5 meta-tarsos, hálux e dedos	Pico da pressão
Phethean et al. 2014	Plataforma 0,57 m (Biokinetics Inc., Bethesda, USA)	98 crianças com desenvolvimento típico	Verificar a distribuição das pressão plantares em crianças entre 4 e 7 anos; e comparar duas técnicas de análises	9: RP: MP med e lat; AP-5 meta-tarsos e hálux	Pico da pressão
Zhang e Li 2013	Palmilha (Pedar - Novel GmbH, Munich, Alemanha)	17 controlo	Investigar como a altura e material de cunhas para o calcâneo afetam a distribuição das pressões plantares e o deslocamento medio-lateral do CoP	3: RP, MP e AP	Pico e integral da pressão, área de contato; deslocamento e velocidade do CoP
Son H 2013	Plataforma 0,5 m (Footscan-Rsscan, Olen, Bélgica)	12 com pé plano e 14 controlo	Verificar alterações na ativação muscular e distribuição das pressões plantares em sujeitos com pé plano enquanto caminham com mochila.	10: RP med e lat; MP; AP-5 meta-tarsos, hálux e dedos	Pico da pressão e área de contato

Autor / Ano	Sistema	Participantes	Objetivo	Nº de regiões: regiões	Variáveis analisadas
Redmond AC et al. 2009	Palmlilha (Pedar - Novel GmbH, Munich, Alemanha)	15 com pé plano (idade entre 18 e 45 anos).	Descrever a magnitude e o tempo das pressões e forças plantares utilizando órtese funcional semi-rígida (personalizada) e pré-fabricada	5: RP, MP, AP med e lat e hálux	Média, pico, integral, tempo e área da pressão e da força
Villarroya MA et al. 2009	Palmlilha (xPression)	8 praticantes de marcha atlética.	Comparar valores temporais e de pressão entre a marcha atlética e a caminhada. Avaliar os efeitos da marcha atlética na pressão durante o caminhar normal	6: calcâneo e cabeças meta-tarsais 1-5	Tempo da fase de apoio e balanço. Pico e média da pressão
Höhne A et al.	Plataforma (Emed SF - Novel GmbH, Munich, Alemanha).	10	Identificar a relação entre redução da sensação plantar cutânea e distribuição da pressão plantar durante a marcha	10: RP med e lat; MP med e lat; AP med, central e lat, hálux, 2º e 3-5º dedos	Área e tempo de contato, pico e integral da pressão e da força
Kanattli U et al. 2008	Plataforma (Emed SF - Novel GmbH, Munich, Alemanha).	106	Verificar o padrão de distribuição do peso sobre as cabeças meta-tarsais	7: RP, MP, AP lat, central e med, hálux e 2-5º dedos	Pico e média na fase do apoio médio e fase da impulsão
Owings TM et al. 2008	Plataforma e palmlilha (Emed e Pedar - Novel, Munich, Alemanha)	22 com diabetes	Comparar palmlilhas fabricadas a partir da forma do pé e medidas de pressão plantar com palmlilhas baseadas somente na forma do pé	4: meta-tarso med, central e lat e MP	Pico e integral da pressão
Martínez-Nova A et al. 2008	Palmlilha (Biofoot - Instituto de Biomec., Valência, Espanha)	45	Investigar o papel da cadência, peso e idade como preditores de pico e média de pressão no AP durante a marcha. Avaliar o rigor e repetibilidade do sistema	7: cabeça do 1º ao 5º meta-tarso, hálux e 2-5º dedos	Pico e média da pressão
Paton e Spooner 2006	Palmlilha (F-Scan - Tekscan, South Boston, Massachusetts)	Uma mulher saudável com 35 anos.	Verificar o o efeito do formato da cunha externa para o RP na posição médio-lateral do CoP durante quatro estágios da fase de apoio	—	Posição e velocidade do centro de pressão
Guldemon NA et al. 2006	Palmlilha (Pedar - Novel, Munich, Alemanha)	10	Quantificar as diferenças entre duas diferentes formas de impressão plantar para fabricação de órteses personalizadas para o pé	10: RP med e lat; MP med e lat; meta-tarsos de 1-5, hálux e 2-5º dedos	Pico da pressão e área de contato
Schmid M et al. 2005	Palmlilha (F-Scan - Tekscan Inc., Boston, MA, EUA)	12 amputados e 7 controlo	Descrever e quantificar o deslocamento do CoP durante a marcha de pessoas com amputação transfemoral	—	Variáveis extraídas das curvas de velocidade e aceleração do CoP
Hessert MJ et al. 2005	Palmlilha (Pedar - Novel, Munich, Alemanha)	9 jovens e 6 idosos	Avaliar a distribuição anatômica da força e pressão plantar e a carga relativa de adultos jovens e idosos durante a marcha	9: RP med e lat; MP med e lat; meta-tarsoa med, central e lat, hálux, dedos	Pico e média da pressão e da força; e carga relativa
Stebbins, JA et al. 2005	Plataforma (Istituto Superiore di Sanita, Rome, Italia)	12 crianças (idade entre 7 e 14 anos)	Estipular valores de referência de pressão plantar em crianças saudáveis para comparar com crianças com deformidades nos pés	5: RP med e lat, MP e AP med e lat	Pico da força e pressão; índice de variabilidade
Nawata K et al. 2005	Plataforma (MP-4800; Anima, Tokyo, Japão)	8 atletas e 10 controlo	Verificar a diferença nas características da marcha entre sujeitos normais e atletas com instabilidade funcional de tornozelo	—	Índice de prono/supinação
Mueller M et al. 2005	Palmlilha (F-Scan - Tekscan, South Boston, Massachusetts)	20 com diabetes	Descrever variável alternativa de pressão e correlacionar o gradiente do pico e o pico da pressão em sujeitos com diabetes, neuropatia periférica e história de úlcera	2: anterior e posterior	Pico e gradiente da pressão
Burns J et al. 2005	Plataforma (Emed SF - Novel GmbH, Munich, Alemanha)	30 com pé cavo idiopático, 10 congênito e 30 controlo	Examinar a influência do pé cavo nas características da pressão plantar em 3 grupos (pé cavo idiopático, neurogênico e normal)	3: RP, MP e AP	Área e tempo de contato, pico e integral da pressão
Castro MP et al. 2013b	Plataforma 0,5 m (Footscan-Rsscan, Olen, Bélgica)	14 com amputação e 21 controlo	Analisar variáveis referentes ao deslocamento do CoP em sujeitos com amputação transfemoral	—	Variáveis extraídas das curvas de velocidade e aceleração do CoP
Lai YC et al. 2013	Plataforma 0,5 m (Footscan-Rsscan, Olen, Bélgica)	77 crianças	Verificar a correlação entre o ângulo de progressão do pé da caminhada e a distribuição das pressões plantares em crianças	5: RP; MP med e lat; AP med e lat	Ângulo de progressão do pé e integral da pressão
Goffar SL et al. 2013	Palmlilha (Pedar - Novel GmbH, Munich, Alemanha)	115	Verificar como carregar carga influencia as pressões plantares em sujeitos com diferentes alturas do arco longitudinal medial	8: RP med e lat; MP med e lat; AP med, central e lat e hálux	Integral da pressão e força máxima
Yan SH et al. 2012	Plataforma 0,5 m (Footscan-Rsscan, Olen, Bélgica)	50 crianças obesas e 50 controlo	Verificar a influência da obesidade nas pressões plantares em crianças	10: RP med e lat; MP, AP-5 meta-tarsos, hálux e 2º dedo e dedos	Pico e instante do pico da pressão; arco index; razão pronação-supinação
Waaijman e Bus 2012	Palmlilha (Pedar - Novel GmbH, Munich, Alemanha) com neuropatia periférica	69 pacientes diabéticos com neuropatia periférica	Verificar a interdependência entre pico e integral da pressão em pacientes diabéticos usando diferentes calçados	6: RP; MP; AP med e lat; hálux e dedos	Pico e integral da pressão
Pérez-Soriano P et al. 2011	Palmlilha (Biofoot - Instituto de Biomec., Valência, Espanha)	20 experientes e 30 iniciantes na caminhada nórdica	Descrever a distribuição das pressões plantares durante a caminhada nórdica em praticantes experientes e iniciantes	9: RP me d elat; MP med e lat; AP med, central e lat; hálux e dedos	Pico da pressão
Pau M et al. 2011	Plataforma 0,5 m (Footscan-Rsscan, Olen, Bélgica)	45 crianças (idade entre 6 e 10 anos) com sobrepeso e 45 controlo	Comparar as pressões plantares entre crianças sem e com sobrepeso durante a caminhada com e sem mochila	3: RP, MP e AP	Pico da pressão e deslocamento do CoP
Mickle KJ et al. 2011	Plataforma (Emed SF - Novel GmbH, Munich, Alemanha).	33 crianças em idade pré-escolar	Verificar a relação entre a distribuição das pressões plantares com o tempo gasto em atividade física e sedentarismo em crianças	5: RP, MP, AP, hálux e dedos	Pico da pressão
Cronkwright DG et al. 2011	Palmlilha (Pedar - Novel GmbH, Munich, Alemanha)	31	Comparar a capacidade de re-distribuir as pressões plantares de órteses pré-fabricadas novas e com mais de 12 meses de uso	3: RP, MP e AP	Pico da pressão, força máxima e área de contato
Bonanno DR et al. 2011	Palmlilha (Pedar - Novel GmbH, Munich, Alemanha)	36 idosos com dor no calcâneo	Verificar o efeito de órteses plantares e cunhas em idosos com dor no calcâneo	3: RP, MP e AP	Pico da pressão, força máxima e área de contato
Rouhani HF et al. 2010	Palmlilha (Pedar - Novel GmbH, Munich, Alemanha)	6 controlo; 3 com osteoartrite no tornozelo e 2 com artroplastia no tornozelo	Verificar se é possível estimar as 3 componentes das forças de reação do solo por meio de um sistem de análise das pressões plantares	—	Análise dos Componentes Principais das curvas de força
Putti AB et al. 2010	Palmlilha (Pedar - Novel GmbH, Munich, Alemanha)	16 homens e 12 mulheres	Comparar a distribuição das pressões plantares entre homens e mulheres	10: RP, MP lat, AP-5 meta-tarsos, hálux e 2º dedo e dedos	Pico e instante, área, tempo de contato, integral da pressão e da força, força máxima

QUADRO 1 — Síntese dos principais artigos originais inclusos na pesquisa.

São também encontrados estudos que analisam a marcha atlética ⁽⁷²⁾, caminhada nórdica ⁽⁵⁶⁾, a marcha de pessoas com amputação transtibial e transfemoral ^(13,49,67), de indivíduos com pé plano ^(61,68,69) ou cavo ^(5,24), e a instabilidade funcional do tornozelo ⁽⁴⁸⁾. No entanto, destaca-se o grande número de estudos que apresentam como alvo a população de pessoas com diabetes sem ou com diferentes graus de neuropatia periférica ^(6,25,43,47,58,62,65,66,76). Neste último grupo, o principal interesse dos trabalhos é compreender os mecanismos responsáveis pelo aumento das pressões plantares e testar a capacidade de diferentes dispositivos para o alívio destas pressões.

Além dos estudos supracitados, estudos que exploraram principalmente os aspectos metodológicos dos sistemas de análise de pressão plantar também foram encontrados (analisados nos tópicos a seguir). ^(3,10,11,15,16,18,19,26,30,37,38)

METODOLOGIA

PROTOCOLOS UTILIZADOS

Uma grande variedade de protocolos é apresentada nos estudos: encontram-se corredores de testes que variam de cinco ⁽⁵⁰⁾ a 40 metros ⁽⁴⁴⁾; geralmente os trabalhos que utilizam plataformas de pressão deixam-na posicionada no centro de um corredor delimitado no local da aquisição dos dados ^(5,13,48,66) e, em alguns estudos, tenta-se posicioná-la de tal forma que não seja notada pelo sujeito da amostra. Para isto, são realizados alguns testes e, desta forma, calcula-se o ponto de onde o indivíduo deve iniciar a caminhada para pisar no centro da plataforma sem alterar o seu padrão de passada ^(13,48); mas encontram-se também estudos que não apresentam tal preocupação e instruem os indivíduos a acertarem com o pé na plataforma durante a fase de apoio da caminhada ⁽¹⁾. Já os trabalhos que utilizam palmlilhas, geralmente registram os dados intermediários da do corredor de testes, descartando os passos iniciais e finais ⁽⁷⁻⁹⁾. Também são encontrados trabalhos que utilizaram passadeira rolante ⁽⁵⁰⁾, neste caso, os minutos iniciais são encarados como adaptação e, a partir daí, as medidas são registradas.

Comummente realizam-se de três a cinco testes ^(5,7-9,13,35,44,54,61,70), porém, também são encontrados estudos que realizam mais ^(37,38); nestes casos, nota-se um interesse maior nos aspectos metodológicos do sistema, tais como rigor e repetibilidade.

A maioria dos estudos adota a cadência e velocidade auto-selecionada ^(1,5-7,9,13,29,31,35-38,43,44,47,48,54,58,67,70,72), ou seja, os indivíduos podem caminhar livremente conforme o seu conforto. Este procedimento ocorre para prevenir distúrbios no padrão da marcha e assegurar o caminhar natural ^(5,32).

A Figura 1 apresenta a visualização das pressões plantares durante o registro de dados realizados por três diferentes sistemas (*Pedar-Novel*, *Footscan-RsScan* e *Fscan-TekScan*).

O sistema mais utilizado nos estudos é da marca *Novel*, tanto em relação à plataforma *Emed-Novel* (1,5,31,35,36,46,50,52,66), quanto às palmilhas *Pedar-Novel* (2,17,21,28,29,42,50,52,59,61,64,73,75). Outros sistemas encontrados foram *Fscan-Tekscan* (6-9,47,54,62,67), *Footscan-Rsscan* (13,24,37-39,55,58,69,74,76), *Biofoot* (44,56), *Biokinetics* (57) *MP-4800-Anima* (48), *Fastscan-Megascan* (43), *No-raxon* (68) e *xPression* (72). As frequências de amostragem variam de 16⁽¹⁾ a 500 Hz (37,58), porém a mais encontrada é de 50 Hz (5,29,31,47,54,61,67). São descritos sistemas com resolução espacial de 0.5⁽⁵⁰⁾ até 4 sensores/cm² (5,31,35) e o maior número de sensores encontrado foi de 4096^(38,58) na plataforma *Footscan-Rsscan*, porém este número pode duplicar ou quadruplicar se as plataformas e um e dois metros são utilizadas, respectivamente, tal sistema apresenta resolução de sensores/cm². Em relação as palmilhas de pressão, o maior número de sensores foi observado na palmilha *Fscan-Tekscan*, 960 sensores (6,43,47), que perfazem resolução de 4 sensores/cm².

Com intuito de verificar se dados provenientes de palmilhas e plataforma de pressão são comparáveis e podem ser usados indiscriminadamente, recolha de dados utilizando simultaneamente os dois sistemas foram realizadas (11,19). Os resultados apontam diferenças nos valores fornecidos pelos sistemas e, desta forma, recomenda-se que o sistema utilizado para recolha de dados a fim de compará-los deve ser padronizado (19).

Limitações na utilização de palmilhas de pressão foram identificadas, dentre elas: o efeito promovido pela interface deformável do calçado pode causar grande impacto sobre as medidas de pressão (18); os sensores das palmilhas podem ser afetados pelo ambiente interno do calçado, incluindo temperatura, contorno e umidade (14,23); a presença de cabos junto ao indivíduo, necessários para os sistemas que utilizam palmilhas, parece ser outro fator condicionante para afastar a caminhada do seu padrão natural. Porém, se o objetivo é analisar o efeito de cunhas, palmilhas, sola, calçado, etc. nas pressões plantares durante a caminhada, ou simplesmente analisar uma atividade realizada com calçado, os sistemas de palmilhas de pressões parecem ser a melhor opção (10,14).

FIGURA 1 — Visualização das pressões plantares durante a aquisição de dados de três sistemas diferentes.

Tais imagens são referentes a avaliações de caminhada realizadas pelos autores do presente artigo (dados não publicados), onde na Figura A e C são apresentados dados referentes a sistemas de palmilhas de pressão enquanto participantes sem qualquer disfunção caminharam a uma velocidade confortável (auto-selecionada). A Figura C ilustra dados obtidos por meio de uma plataforma de pressões enquanto um participante com prótese transfemoral no membro inferior esquerdo caminhava também com uma velocidade de caminhada confortável. Nas três figuras, cores “quentes” — vermelho — representam os maiores valores de pressão registrados durante a fase de apoio. Nota-se na Figura A que os maiores valores de pressão ocorreram na região medial do retro-pé, na Figura B os maiores picos ocorreram na região lateral do membro com prótese, enquanto que na Figura C os maiores valores de pressão plantar foram vistos na região medial e central do ante-pé. Na Figura B, a posição do centro de pressão (pontilhado em preto), assim como um dos métodos usados para calcular o ângulo do pé no plano transversal em relação a linha de progressão da marcha (linha rosa) também são ilustrados.

DIVISÃO DO PÉ ADOTADA

A divisão do pé deve ser realizada por meio de regiões pequenas o suficiente para evitar a confusão com a função de uma região vizinha, porém deve ser grande o suficiente para incluir toda a informação útil sobre a região específica (70). Idealmente, as divisões devem corresponder à anatomia e função do pé, levando em consideração, desta forma, a posição das articulações (70). Porém, não é consensual a abordagem mais apropriada para alcançar este objetivo.

São encontrados três principais métodos para dividir o pé em regiões. O mais utilizado baseia-se em critérios geométricos pré-definidos ^(5,7-9,13,31,33,35,36,38,44,50,58,61,66). Quando este método é utilizado a partir dos testes realizados na plataforma de pressão, a “imagem” do pé é rodada, e transladada, até que se ajuste a uma espécie de molde, no qual as regiões são divididas conforme percentuais estipulados referentes ao comprimento e largura da superfície plantar. Já com a utilização de palmilhas os dados podem ser diretamente distribuídos nas regiões estipuladas. Porém, em padrões alterados de marcha ou deformidades do pé, este método geométrico perde precisão ⁽⁴⁾. Uma alternativa usada para a divisão das regiões é a identificação e seleção de regiões anatômicas por meio de inspeção visual; a precisão deste método depende da resolução espacial da plataforma/ palmilha e do conhecimento anatômico do clínico, além disso, este processo, por não ser automático, torna-se mais lento ^(51,62). Também encontram-se, em um número menor de estudos, a utilização de sistemas de cinemetria para auxiliar o estabelecimento das regiões do pé; nestes casos marcadores são colocados em regiões específicas do pé e a posição de cada ponto é projetada verticalmente na imagem da pressão, assim as regiões podem ser divididas automaticamente por meio dos marcadores anatômicos. No entanto, este método torna-se mais complexo requerendo a perfeita integração e sincronismo dos sistemas baropodométricos e de vídeo, apresentando as limitações inerentes à marcação dos pontos anatômicos ^(27,70).

Como pode ser visto no Quadro 1, alguns estudos não dividem o pé em regiões; nestes trabalhos nota-se um interesse somente pelas variáveis que envolvem o centro de pressão (CoP) ^(12,54,67). Já a maioria dos trabalhos divide o pé em diferentes regiões, apresentando resultados relativos a cada região separadamente. Independentemente do método utilizado, na maioria dos casos, não há concordância nas divisões das regiões entre os trabalhos, dificultando assim a comparação dos dados. Os estudos encontrados dividem o pé de duas a 10 regiões. A região mais minuciosamente estudada é o ante-pé; tal região também apresenta a maior variabilidade na divisão das regiões, a qual é dividida em até oito regiões ⁽³¹⁾. Em relação ao retro-pé e ao médio-pé são apresentadas, geralmente, uma ou duas regiões.

Pataky et al. ⁽⁵³⁾ investigaram a relação entre o estabelecimento dos limites das regiões plantares e o pico da pressão plantar. Os dados sugerem que o pico de pressão regional é altamente sensível às definições dos limites das regiões anatômicas e que estas distinções anatômicas entre regiões adjacentes não implicam em distinção funcional. Assim, os autores sugerem atenção e prudência quando for efetuada a definição dos limites das regiões; além disso, os autores apontam que a sensibilidade do pico de pressão regional deve ser considerada quando inferências estatísticas são feitas em relação à função do pé.

VARIÁVEIS ANALISADAS

O pico da pressão é a variável mais analisada nos artigos. Tal variável pode ser apresentada relativamente a uma região — pico regional ^(5,31,33,36,38,47,50,52,61,62,66), a um sensor unitário presente na região — pico do sensor ^(7-9,38,61) e/ ou em relação a toda a superfície plantar — pico

total ^(5,31,35,44,62). A análise da pressão média e do impulso/ integral (regional, por sensor ou total) também é frequentemente encontrada nos artigos. Este conjunto de variáveis informa sobre a magnitude da pressão a que cada região ou sensor está submetida. Tais variáveis são apresentadas em valores absolutos ou normalizadas pelo peso corporal. Keijsers et al. ⁽³⁸⁾ analisaram a relação entre o pico, a média e o impulso da pressão plantar, tendo verificado que os resultados apontam para que tais variáveis podem ser razoavelmente comparadas entre os estudos e, desta forma, concluíram que as variáveis mais comuns usadas para caracterizar a pressão plantar são altamente inter-correlacionadas. Isto implica que um menor conjunto de parâmetros pode ser mais eficiente para registrar o comportamento biomecânico de interesse. A análise subjetiva dos resultados encontrados nos artigos desta revisão, em sua grande maioria, corrobora com estes achados ⁽³⁸⁾, onde as regiões de maior pico de pressão são as que apresentam maiores pressões médias e impulso.

A área de contato também é verificada com os sistemas de pressão, podendo ser referente a cada região ou à superfície plantar total ^(1,5,7,13,29,35,61). As áreas de contato plantar durante a caminhada foram descritos em pessoas obesas e não obesas: $126.3 \pm 19.3 \text{ cm}^2$ e $132.3 \pm 16.9 \text{ cm}^2$, respectivamente ⁽¹⁾; pessoas com pé normal, pé cavo idiopático e pé cavo congênito: área de 125.8 ± 22 , 70.7 ± 10.1 e $63.9 \pm 11.6 \text{ cm}^2$, respectivamente ⁽⁵⁾; e pessoas com pé plano: $73.3 \pm 10.1 \text{ cm}^2$ ⁽⁶¹⁾. A comparação dos resultados entre os estudos deve ser feita com cuidado: os dois primeiros estudos apresentados utilizaram uma plataforma e os testes foram feitos sem calçado, enquanto que o último estudo utilizou palmilhas de pressão com os indivíduos calçando sapatilhas; podendo algumas das diferenças terem ocorrido devido aos diferentes protocolos.

Outra variável possível de ser analisada com os sistemas de pressão é o CoP, o qual pode ser definido como o ponto instantâneo de aplicação da força de reação do solo na superfície plantar durante o apoio ^(20,22,26,45,54). Comumente o deslocamento antero-posterior e medio-lateral do CoP são calculados. Entretanto, outras variáveis podem ser extraídas da curva que representa a aceleração do CoP durante a fase de apoio. Eventos tais como o instante de máxima aceleração do retro-pé, mínima e máxima aceleração no ante-pé são identificados e permitem a análise detalhada de subfases da fase de apoio. Por exemplo, a posição antero-posterior do CoP no instante de máxima aceleração do retro-pé informa como a superfície plantar está a ser explorada no início da fase de apoio, assim como o intervalo de tempo entre estes eventos extraídos da curva de aceleração informam a capacidade dos participantes em explorar diferentes estágios da fase de apoio. Detalhada definição e aplicação de tais parâmetros podem ser encontrados em estudos prévios ^(12,67). Sendo assim, o CoP mostra-se como uma variável de grande relevância para comparações entre diferentes populações e diferentes intervenções. Geralmente, são apresentados valores referentes à posição (deslocamento) e velocidade desta variável ^(13,29,54,67).

Também foram encontrados alguns índices para análises específicas da superfície plantar, os quais têm como propósito avaliar a relação da distribuição das pressões em dife-

rentes regiões. Por exemplo, para verificar a relação entre a distribuição das pressões no ante-pé medial e lateral criou-se um índice que calcula a razão entre o conjunto 1º e 2º meta-tarso e o conjunto 3º-5º meta-tarso ⁽⁶⁶⁾; neste sentido também são encontrados índices que avaliam a relação entre o retro-pé lateral e medial ⁽⁶⁶⁾, assim como a relação entre o ante-pé e o retro-pé ⁽⁶⁾; além destes, encontram-se também índices que tentam relacionar diferentes regiões do pé com o movimento na articulação do tornozelo, um exemplo é o índice de pronação e supinação, o qual é calculado a partir do deslocamento do CoP ⁽⁴⁸⁾.

Ao analisar os parâmetros apresentados pelos estudos incluídos nesta revisão, nota-se, em geral, a não congruência dos resultados entre os estudos. Tal fato pode ser atribuído aos diferentes métodos de dividir o pé em regiões (apresentado acima) e assim a extração de variáveis dependentes é referente a diferentes regiões da superfície plantar ⁽³⁸⁾. Além disso, outro fator que dificulta a comparação das variáveis entre os estudos é a adoção de diferentes unidades de medida. As unidades mais utilizadas para apresentar valores médios e de pico de pressão são o kilopascal (kPa) e o Newton por centímetro quadrado (N/cm²), mas também são utilizados o quilograma-força por centímetro quadrado (kgf/cm²) e o Pascal por quilograma (Pa/kg); neste último caso, nota-se que a variável proporciona uma normalização dos dados pela massa de cada indivíduo.

PERFIL DAS PRESSÕES PLANTARES EM DIFERENTES POPULAÇÕES E DIFERENTES CONDIÇÕES DE MARCHA

A Figura 2 apresenta os resultados de sete estudos que utilizaram o kPa como unidade da pressão e apresenta os valores de pico em diferentes regiões do pé. Este pico da região refere-se ao instante onde a média da pressão de todos os sensores presentes na região apresenta seu maior valor. Entretanto, não é claro na literatura o valor de pico de pressão plantar durante a caminhada que deva ser considerado como limiar para aumento do risco de lesões na superfície plantar. A região do pé onde aparecem os maiores valores de pressão é o ante-pé ^(5,44,47,61,70), onde se destacam altos valores nas regiões do 2º meta-tarso ^(31,35,36,44) e 3º meta-tarso. Porém, a diferença da magnitude do pico da pressão entre o ante-pé e o retro-pé não é grande e, geralmente, a região medial do retro-pé apresenta maiores valores quando comparada com a lateral ^(35,70). Já o médio-pé apresenta valores bastante inferiores ao retro-pé e ante-pé, onde o médio-pé lateral apresenta maiores valores quando comparado com o medial ⁽³⁵⁾.

FIGURA 2 — Picos da pressão apresentados por diferentes estudos. Os números entre colchetes indicam a respectiva referência bibliográfica. * # † – identificam as diferentes divisões de regiões adotadas em áreas semelhantes da superfície plantar. RP – retro-pé; MP – médio-pé; AP – ante-pé; med – medial; lat – lateral; MT – meta-tarso.

PRESSÕES PLANTARES DURANTE A MARCHA ATLÉTICA

Quando são analisadas populações específicas, notam-se algumas alterações no comportamento dos picos de pressão. Villarroya et al. ⁽⁷²⁾ analisaram atletas profissionais de marcha atlética, durante a caminhada normal, encontrando maiores valores de pico de pressão, em todas as regiões menos no 1º meta-tarso quando comparados com não praticantes. Nesta população destacaram-se os altos valores encontrados no retro-pé, região onde ocorreu o maior pico de pressão ⁽⁷²⁾.

PRESSÕES PLANTARES DURANTE A CAMINHADA NÓRDICA

Durante a caminhada nórdica, os valores de pico de pressão plantar na região central do ante-pé diminuíram aproximadamente 50% quando comparadas as pressões plantares durante a caminhada normal ⁽⁵⁶⁾. Praticantes experientes apresentaram menores valores de pressão na região central do ante-pé comparativamente aos participantes novatos. Os autores sugeriram a caminhada nórdica como uma técnica capaz de diminuir os picos de pressão plantar durante a caminhada normal ⁽⁵⁶⁾.

PRESSÕES PLANTARES EM INDIVÍDUOS COM DIABETES

Caselli et al. ⁽⁶⁾ analisaram indivíduos diabéticos com diferentes graus de neuropatia; neste estudo o pé foi dividido apenas em duas regiões (anterior e posterior), os resultados evidenciaram um aumento nos valores de pressão consoante a gravidade da doença, destacando-se maiores valores de pressão na região anterior. Analisando a mesma população, Lobmann et al. ⁽⁴³⁾ testaram, ao longo de um ano, o efeito de um tênis fabricado especialmente para aliviar as pressões plantares. O pico de pressão total passou de 440 ± 190 kPa com o calçado neutro para 290 ± 100 kPa com o calçado especial, às oito semanas bem como aos seis meses os valores mantiveram-se próximos a este, porém um ano após o início do estudo houve uma elevação do pico de pressão para 340 ± 140 kPa, indicando a necessidade de ajustar o calçado a cada seis meses ⁽⁴³⁾.

Pacientes diabéticos com úlcera plantar apresentam um padrão alterado de pressão plantar, o qual se caracteriza por sobrecarga de algumas regiões da superfície plantar ⁽⁶⁵⁾. Porém, Friberg et al. ⁽²⁵⁾ evidenciaram que altos valores de pressão plantar (6 kg/cm^2) e neuropatia são associados de maneira independente com o aparecimento de úlceras na população de pacientes diabéticos. São encontrados valores superiores aos encontrados na população sem patologia em 51% dos pacientes com neuropatia diabética e em 17% de pacientes diabéticos sem neuropatia diabética ⁽³⁾. Uma das hipóteses para o aumento da pressão em indivíduos com neuropatia diabética é a diminuição da sensibilidade plantar ^(6,25). Porém, Hohne et al. ⁽³⁵⁾ avaliaram as forças plantares antes e após um protocolo de diminuição da sensação plantar por meio de anestesia na superfície plantar e não encontraram diferenças nas variáveis de força, pressão e tempo de contato plantar ⁽³⁵⁾. Os autores sugeriram que a neuropatia sensorial periférica pode não ser um fator decisivo para a alteração das pressões plantares, e ressaltaram a importância da atenção em relação aos diferentes sistemas secundários afetados pela neuropatia diabética ⁽³⁵⁾.

Para os pacientes com diabetes e outras patologias, tem-se procurado a diminuição da sobrecarga da superfície plantar a partir do desenvolvimento de palmilhas ortopédicas. Owings et al. ⁽⁵²⁾ verificaram que a confecção de palmilhas por meio da associação das pressões plantares com o levantamento de forma do pé mostrou-se mais eficaz (diminuição das pressões nas áreas críticas) quando comparada com o desenvolvimento de palmilhas baseada somente em dados referentes ao levantamento de forma do pé ⁽⁵²⁾.

PRESSÕES PLANTARES EM INDIVÍDUOS COM AMPUTAÇÃO TRANSFEMORAL

Foram verificadas diferenças em parâmetros espaço-temporais e magnitude das pressões plantares em indivíduos com amputação transfemoral entre o membro remanescente, o membro com a prótese e quando comparados a indivíduos sem amputação ^(13,49). Os valores do grupo de participantes sem amputação foram sugeridos como referência de padrão

ideal para protocolos de reabilitação ^(13,49). Porém, os autores indicaram a necessidade de validação da utilização do perfil das pressões plantares de pessoas saudáveis para guiar programas de reabilitação ^(13,49).

PRESSÕES PLANTARES EM INDIVÍDUOS OBESOS

Analisando participantes com obesidade, diferentes resultados foram encontrados entre os estudos. Um estudo observou maiores picos de pressão somente na região do médio-pé nos participantes com obesidade ⁽¹⁾; enquanto outro estudo identificou maiores valores de pico de pressão plantar em todas as regiões nos participantes obesos ⁽³⁴⁾. Um estudo mais recente, o qual apresentou uma abordagem mais detalhada para análise das pressões plantares, identificou maiores picos de pressão na região central do retro-pé, lateral do médio-pé, lateral e central do ante-pé nos participantes com obesidade ⁽⁹⁾. O último estudo ⁽⁹⁾ também observou alteração no padrão das pressões plantares em participantes obesos: exigem mais da porção lateral no ante-pé enquanto parece haver uma proteção da região retro-pé medial e hálux. Os diferentes níveis de obesidade avaliados entre os estudos — valores médios de 32.2 kg/m^2 ⁽¹⁾, 38.8 kg/m^2 ⁽³⁴⁾ e 37.4 kg/m^2 ⁽⁹⁾ — possivelmente contribuíram para a falta de consenso entre os resultados.

PRESSÕES PLANTARES EM INDIVÍDUOS UTILIZANDO MOCHILAS

Quando sujeitos caminharam a utilizar mochilas, um significativo aumento das pressões plantares foi identificado em nove das 10 regiões da superfície plantar analisadas; similares valores entre caminhar com e sem mochila foram observados no médio-pé lateral ⁽⁷⁾. Os autores sugeriram que o aumento das pressões plantares nas regiões do retro-pé associados ao aumento do cisalhamento nos 50% iniciais da fase de apoio (dados referentes às forças de reação do solo) podem estar relacionados com o desenvolvimento de lesões na superfície plantar, a qual é a lesão mais comum associada ao caminhar com mochilas. Além disso, uma interessante alteração no padrão das distribuições plantares foi identificada durante a caminhada com mochila: as pressões plantares aumentaram mais que a proporção do peso da mochila na região do médio-pé medial e dedos ⁽⁷⁾. O deslocamento da pressão na região do médio-pé do sentido lateral para medial talvez indique uma tentativa de alterar o padrão da marcha no sentido de deixar as pressões plantares mais homogênea, usando mais a região medial a qual pouca carga recebe durante a caminhada sem mochila. Por fim, a região a qual recebe o maior aumento das pressões plantares durante a caminhada com mochila foi a região medial do ante-pé. Tal região deve ser especialmente monitorada no sentido de evitar o desenvolvimento de lesões na superfície plantar relacionada com o transporte de carga.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nota-se que os sistemas de análise das pressões plantares têm sido amplamente utilizados para a avaliação da caminhada. Dentre as principais linhas de atuação destes sistemas encontram-se: a tentativa do estabelecimento de padrões de normalidade; avaliação de dispositivos para alívio das pressões plantares excessivas; avaliação pré e pós intervenções terapêuticas; no acompanhamento de pacientes; monitoramento das pressões plantares durante atividade física; e análise ergonômica.

A diversidade dos sistemas, protocolos de coleta de dados, divisão do pé, forma de apresentação dos resultados e as conclusões controversas de alguns estudos impedem o estabelecimento de um padrão de pressão plantar característico (comportamento e magnitude) durante a caminhada para as diversas populações estudadas, assim como a clareza da real influência exercida por diferentes abordagens metodológicas neste padrão.

Seriam interessantes estudos futuros a investigar: (i) se o padrão da distribuição das pressões plantares encontrado em pessoas saudáveis pode ser utilizado como referência para guiar programas de reabilitação para pacientes com disfunções da marcha ou alterações das estruturas do pé; (ii) o estabelecimento de valores específicos de pico de pressão plantar durante a caminhada a serem evitados, ou que estejam envolvidos na fisiopatologia das lesões na superfície plantar ou disfunções da marcha; (iii) identificar o método de divisão da superfície plantar que melhor expressa a função do pé durante a fase de apoio; (iv) definir e padronizar protocolos para análise de marcha utilizando sistemas de pressões plantar para permitir comparações entre estudos; e (v) como diferentes materiais/ acessórios (p. ex. cunhas, sola, meia, etc.) influenciam o padrão das pressões plantares.

REFERÊNCIAS

- Birtane M, Tuna H. (2004) The evaluation of plantar pressure distribution in obese and non-obese adults. *Clinical Biomechanics*, 19(10): 1055-1059.
- Bonanno DR, Landorf KB, Menz HB. (2011) Pressure-relieving properties of various shoe inserts in older people with plantar heel pain. *Gait and Posture*, 33(3): 385-389.
- Boulton AJ, Hardisty CA, Betts RP, Franks CI, Worth RC, Ward JD, Duckworth T. (1983) Dynamic foot pressure and other studies as diagnostic and management aids in diabetic neuropathy. *Diabetes Care*, 6(1): 26-33.
- Bowen T, R., Miller F, Castagno P, Richards J, Lipton G. (1998) A method of dynamic foot-pressure measurement for the evaluation of pediatric orthopaedic foot deformities. *Journal of Pediatrics Orthopedics*, 18(6): 789-793.
- Burns J, Crosbie J, Hunt A, Ouvrier R. (2005) The effect of pes cavus on foot pain and plantar pressure. *Clinical Biomechanics*, 20(9): 877-882.
- Caselli A, Pham H, Giurini JM, Armstrong DG, Veves A. (2002) The forefoot-to-rearfoot plantar pressure ratio is increased in severe diabetic neuropathy and can predict foot ulceration. *Diabetes Care*, 25(6): 1066-1071.
- Castro M, Abreu S, Sousa H, Machado L, Santos R, Vilas-Boas JP. (2013a) Ground reaction forces and plantar pressure distribution during occasional loaded gait. *Applied Ergonomics*, 44(3): 503-509.
- Castro MP, Abreu S, Pinto V, Santos R, Machado L, Vaz M, Vilas-Boas JP. (2014a) Influence of pressure relief insoles developed for loaded gait (backpackers and obese people) on plantar pressure distribution and ground reaction forces. *Applied Ergonomics*, 45(4): 1028-1034.
- Castro MP, Abreu SA, Sousa H, Machado L, Santos R, Vilas-Boas JP. (2014b) In-shoe plantar pressures and ground reaction forces during overweight adults' overground walking. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 85(2): 188-197.
- Castro MP, Meucci M, Soares DP, Fonseca P, Borgonovo-Santos M, Sousa F, Machado L, Vilas-Boas JP. (2014) Accuracy and Repeatability of the Gait Analysis by the WalkinSense System. *Biomed Research International*, 2014: 11.
- Castro MP, Soares D, Machado L. (2011) Comparison of vertical GRF obtained from force plate, pressure plate and insole pressure system. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 11(Supl. 2): 849-852.
- Castro MP, Soares D, Mendes E, Machado L. (2013b) Center of pressure analysis during gait of elderly adult transfemoral amputees. *Journal of Prosthetics and Orthotics*, 25(2): 68-75.
- Castro MP, Soares D, Mendes E, Machado L. (2014c) Plantar pressures and ground reaction forces during walking of individuals with unilateral transfemoral amputation. *PM&R*, 6(8): 698-707.
- Cavanagh PR, Hewitt Jr FG, Perry JE. (1992) In-shoe plantar pressure measurement: a review. *The Foot*, 2(4): 185-194.
- Cavanagh PR, Sims DS, Jr., Sanders LJ. (1991) Body mass is a poor predictor of peak plantar pressure in diabetic men. *Diabetes Care*, 14(8): 750-755.
- Cavanagh PR, Ulbrecht JS. (1994) Clinical plantar pressure measurement in diabetes: rationale and methodology. *The Foot*, 4(3): 123-135.
- Chang B-C, Liu D-H, Chang JL, Lee S-H, Wang J-Y. (2014) Plantar pressure analysis of accommodative insole in older people with metatarsalgia. *Gait and Posture*, 39(1): 449-454.
- Chesnin KJ, Selby-Silverstein L, Besser MP. (2000) Comparison of an in-shoe pressure measurement device to a force plate: concurrent validity of center of pressure measurements. *Gait and Posture*, 12(2): 128-133.
- Chevalier TL, Hodgins H, Chockalingam N. (2009) Plantar pressure measurements using an in-shoe system and a pressure platform: A comparison. *Gait and Posture*, 31(3): 397-399.
- Cornwall M, McPoil T. (2000) Velocity of the center of pressure during walking. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 90(7): 334-338.
- Cronkwright DG, Spink MJ, Landorf KB, Menz HB. (2011) Evaluation of the pressure-redistributing properties of prefabricated foot orthoses in older people after at least 12 months of wear. *Gait and Posture*, 34(4): 553-557.

22. De Cock A, Vanrenterghem J, Willems T, Witvrouw E, De Clercq D. (2008) The trajectory of the centre of pressure during barefoot running as a potential measure for foot function. *Gait and Posture*, 27(4): 669-675.
23. Erhart JC, Mündermann A, Mündermann L, Andriacchi TP. (2008) Predicting changes in knee adduction moment due to load-altering interventions from pressure distribution at the foot in healthy subjects. *Journal of Biomechanics*, 41(14): 2989-2994.
24. Fernández-Seguín LM, Díaz Mancha JA, Sánchez Rodríguez R, Escamilla Martínez E, Gómez Martín B, Ramos Ortega J. (2014) Comparison of plantar pressures and contact area between normal and cavus foot. *Gait and Posture*, 39(2): 789-792.
25. Frykberg RG, Lavery LA, Pham H, Harvey C, Harkless L, Veves A. (1998) Role of neuropathy and high foot pressures in diabetic foot ulceration. *Diabetes Care*, 21(10): 1714-1719.
26. Fuller E. (1999) Center of pressure and its theoretical relationship to foot pathology. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 89(6): 278-291.
27. Giacomozzi C, Macellari V, Leardini A, Benedetti MG. (2000) Integrated pressure-force-kinematics measuring system for the characterisation of plantar foot loading during locomotion. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 38(2): 156-163.
28. Goffar SL, Reber RJ, Christiansen BC, Miller RB, Naylor JA, Rodriguez BM, Walker MJ, Teyhen DS. (2013) Changes in Dynamic Plantar Pressure During Loaded Gait. *Physical Therapy*, 93(9): 1175-1184.
29. Guldemond NA, Leffers P, Sanders AP, Emmen H, Schaper NC, Walenkamp GH. (2006) Casting methods and plantar pressure: effects of custom-made foot orthoses on dynamic plantar pressure distribution. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 96(1): 9-18.
30. Gurney JK, Kersting UG, Rosenbaum D. (2008) Between-day reliability of repeated plantar pressure distribution measurements in a normal population. *Gait and Posture*, 27(4): 706-709.
31. Hayafune N, Hayafune Y, Jacob HAC. (1999) Pressure and force distribution characteristics under the normal foot during the push-off phase in gait. *The Foot*, (9): 88-92.
32. Hennig EM, Rosenbaum D. (1991) Pressure distribution patterns under the feet of children in comparison with adults. *Foot Ankle*, 11(5): 306-311.
33. Hessert MJ, Vyas M, Leach J, Hu K, Lipsitz LA, Novak V. (2005) Foot pressure distribution during walking in young and old adults. *BMC Geriatrics*, 19: 5-8.
34. Hills AP, Hennig EM, McDonald M, Bar-Or O. (2001) Plantar pressure differences between obese and non-obese adults: a biomechanical analysis. *International Journal of Obesity*, 25(11): 1674-1679.
35. Höhne A, Stark C, Brüggemann G-P. (2009) Plantar pressure distribution in gait is not affected by targeted reduced plantar cutaneous sensation. *Clinical Biomechanics*, 24(3): 308-313.
36. Kanatli U, Yetkin H, Simsek A, Ozturk AM, Esen E, Besli K. (2008) Pressure distribution patterns under the metatarsal heads in healthy individuals. *Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica*, 42(1): 26-30.
37. Keijsers NLW, Stolwijk NM, Nienhuis B, Duysens J. (2009) A new method to normalize plantar pressure measurements for foot size and foot progression angle. *Journal of Biomechanics*, 42(1): 87-90.
38. Keijsers NLW, Stolwijk NM, Pataky TC. (2010) Linear dependence of peak, mean, and pressure-time integral values in plantar pressure images. *Gait and Posture*, 31(1): 140-142.
39. Lai PPK, Leung AKL, Li ANM, Zhang M. (2008) Three-dimensional gait analysis of obese adults. *Clinical Biomechanics*, 23: S2-S6.
40. Lai Y-C, Lin H-S, Pan H-F, Chang W-N, Hsu C-J, Renn J-H. (2013) Impact of foot progression angle on the distribution of plantar pressure in normal children. *Clinical Biomechanics*, 29(2): 196-200.
41. Lake M, Wilssens J-P, Lens T. Barefoot, shod, plate and insole pressure measurement comparisons during 4-4.5 m/s running in relationships to lower limbs movements. *ISBS.2005*; Beijing, China.
42. Lane TJ, Landorf KB, Bonanno DR, Raspovic A, Menz HB. (2014) Effects of shoe sole hardness on plantar pressure and comfort in older people with forefoot pain. *Gait and Posture*, 39(1): 247-251.
43. Lobmann R, Kayser R, Kasten G, Kasten U, Kluge K, Neumann W, Lehnert H. (2001) Effects of preventive footwear on foot pressure as determined by podobarography in diabetic patients: a prospective study. *Diabetic Medicine*, 18(4): 314-319.
44. Martinez-Nova A, Pascual Huerta J, Sanchez-Rodriguez R. (2008) Cadence, age, and weight as determinants of forefoot plantar pressures using the Biofoot in-shoe system. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 98(4): 302-310.
45. McPoil TG, Cornwall MW. (1998) Variability of the center of pressure pattern integral during walking. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 88(6): 259-267.
46. Mickle KJ, Cliff DP, Munro BJ, Okely AD, Steele JR. (2011) Relationship between plantar pressures, physical activity and sedentariness among preschool children. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14(1): 36-41.
47. Mueller MJ, Zou D, Lott DJ. (2005) "Pressure gradient" as an indicator of plantar skin injury. *Diabetes Care*, 28(12): 2908-2912.
48. Nawata K, Nishihara S, Hayashi I, Teshima R. (2005) Plantar pressure distribution during gait in athletes with functional instability of the ankle joint: preliminary report. *Journal of Orthopaedic Science*, 10(3): 298-301.
49. Nolan L, Wit A, Dudzinski K, Lees A, Lake M, Wycho-wanski M. (2003) Adjustments in gait symmetry with walking speed in trans-femoral and trans-tibial amputees. *Gait and Posture*, 17(2): 142-151.
50. Nyska M, McCabe C, Linge K, Laing P, Klenerman L. (1995) Effect of the shoe on plantar foot pressures. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 66(1): 53 - 56.
51. Orlin MN, McPoil TG. (2000) Plantar pressure assessment. *Physical Therapy*, 80(4): 399-409.
52. Owings TM, Woerner JL, Frampton JD, Cavanagh PR, Botek G. (2008) Custom therapeutic insoles based on both foot shape and plantar pressure measurement provide enhanced pressure relief. *Diabetes Care*, 31(5): 839-844.
53. Pataky TC, Caravaggi P, Savage R, Crompton RH. (2008) Regional peak plantar pressures are highly sensitive to region boundary definitions. *Journal of Biomechanics*, 41(12): 2772-2775.
54. Paton JS, Spooner SK. (2006) Effect of extrinsic rearfoot post design on the lateral-to-medial position and velocity of the center of pressure. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 96(5): 383-392.
55. Pau M, Saba E, Pau M. (2011) A study on the combined effect of obesity and load carriage on plantar pressure patterns of primary school children. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 55(1): 1606 - 1610.
56. Pérez-Soriano P, Llana-Belloch S, Martínez-Nova A, Morey-Klapsing G, Encarnación-Martínez A. (2011) Nordic walking practice might improve plantar pressure distribution. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 82(4): 593-599.
57. Phethean J, Pataky TC, Nester CJ, Findlow AH. (2014) A cross-sectional study of age-related changes in plantar pressure distribution between 4 and 7 years: A comparison of regional and pixel-level analyses. *Gait and Posture*, 39(1): 154-160.
58. Praet SF, Louwerens JW. (2003) The influence of shoe design on plantar pressures in neuropathic feet. *Diabetes Care*, 26(2): 441-445.
59. Putti AB, Arnold GP, Abboud RJ. (2010) Foot pressure differences in men and women. *Foot and Ankle Surgery*, 16(1): 21-24.
60. Queen RM, Abbey AN, Wiegerinck JI, Yoder JC, Nunley JA. (2010) Effect of shoe type on plantar pressure: A gender comparison. *Gait and Posture*, 31(1): 18-22.
61. Redmond AC, Landorf KB, Keenan AM. (2009) Contoured, prefabricated foot orthoses demonstrate comparable mechanical properties to contoured, customised foot orthoses: a plantar pressure study. *Journal of Foot and Ankle Research*, 2: 20.
62. Resch S, Apelqvist J, Stenström A, Åström I. (1997) Dynamic plantar pressure measurement in 49 patients with diabetic neuropathy with or without foot ulcers. *Foot and Ankle Surgery*, 3(4): 165-174.
63. Rosenbaum D, Becker HP. (1997) Plantar pressure distribution measurements. Technical background and clinical applications. *Foot and Ankle Surgery*, 3: 1-14.
64. Rouhani H, Favre J, Crevoisier X, Aminian K. (2010) Ambulatory assessment of 3D ground reaction force using plantar pressure distribution. *Gait and Posture*, 32(3): 311-316.

65. Sacco ICN, Bacarin TA, Canettieri MG, Hennig EM. (2009) Plantar pressures during shod gait in diabetic neuropathic patients with and without a history of plantar ulceration. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 99(4): 285-294.
66. Savelberg HH, Schaper NC, Willems PJ, de Lange TL, Meijer K. (2009) Redistribution of joint moments is associated with changed plantar pressure in diabetic polyneuropathy. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 10: 16.
67. Schmid M, Beltrami G, Zambambieri D, Verni G. (2005) Centre of pressure displacements in trans-femoral amputees during gait. *Gait and Posture*, 21(3): 255-262.
68. Shibuya N, Kitterman RT, LaFontaine J, Jupiter DC. (2014) Demographic, physical, and radiographic factors associated with functional flatfoot deformity. *Journal of Foot and Ankle Surgery*, 32(2): 168-172.
69. Son H. (2013) The effect of backpack load on muscle activities of the trunk and lower extremities and plantar foot pressure in flatfoot. *Journal of Physical Therapy Science*, 25(11): 1383-1386.
70. Stebbins JA, Harrington ME, Giacomozzi C, Thompson N, Zavatsky A, Theologis TN. (2005) Assessment of sub-division of plantar pressure measurement in children. *Gait and Posture*, 22(4): 372-376.
71. Van Gheluwe B, Dananberg HJ. (2004) Changes in plantar foot pressure with in-shoe varus or valgus wedging. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 94(1): 1-11.
72. Villarroya MA, Casajús JA, Pérez JM. (2009) Temporal values and plantar pressures during normal walking and racewalking in a group of racewalkers. *Journal of Sport Rehabilitation*, 18(2): 283-295.
73. Waaijman R, Bus SA. (2012) The interdependency of peak pressure and pressure-time integral in pressure studies on diabetic footwear: No need to report both parameters. *Gait and Posture*, 35(1): 1-5.
74. Yan S-h, Zhang K, Tan G-q, Yang J, Liu Z-c. (2013) Effects of obesity on dynamic plantar pressure distribution in Chinese prepubescent children during walking. *Gait and Posture*, 37(1): 37-42.
75. Zhang X, Li B. (2013) Influence of in-shoe heel lifts on plantar pressure and center of pressure in the medial-lateral direction during walking. *Gait and Posture*, 34(4): 1012-1016.
76. Zhang X, Zhang Y, Gao X, Wu J, Jiao X, Zhao J, Lv X. (2014) Investigating the role of backward walking therapy in alleviating the plantar pressure of patients with diabetic peripheral neuropathy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 95(5): 832-839.

AUTORES:Maria Margarida Loureiro ¹Ana Isabel Padrão ^{1,2}José Alberto Duarte ²Rita Ferreira ¹

¹ QOPNA, Departamento de Química,
Universidade de Aveiro, Aveiro,
Portugal

² CIAFEL, Faculdade de Desporto,
Universidade do Porto, Porto, Portugal

<https://doi.org/10.5628/rpcd.14.02.95>

Impacto do exercício físico regular no catabolismo muscular subjacente à caquexia associada ao cancro

PALAVRAS CHAVE:

Exercício físico. Cancro. Caquexia. Revisão da literatura.

SUBMISSÃO: 6 de Maio de 2014

ACEITAÇÃO: 15 de Julho de 2014

RESUMO

A caquexia é uma síndrome multifatorial caracterizada por um conjunto de alterações metabólicas e imunológicas que culminam numa perda involuntária e excessiva de mais de 5% do peso corporal num período inferior ou igual a 12 meses. Esta condição está normalmente associada a doenças malignas e debilitantes, tais como o cancro, a insuficiência cardíaca crónica, a sépsis e a doença pulmonar obstrutiva crónica. Na caquexia associada ao cancro, o tumor promove uma resposta inflamatória em que estão envolvidas citocinas pro-inflamatórias e fatores pro-caquéticos que induzem uma reação de fase aguda com subsequente desregulação, a nível muscular esquelético, das vias de sinalização que modulam a síntese e degradação de proteínas. Entre as vias moduladas pela caquexia associada ao cancro tem sido destacada a sobre-expressão da via da ubiquitina-proteassoma e da via da miostatina bem como a repressão da via anabólica PI3K/Akt/mTOR. A prática de exercício físico regular, graças ao seu papel anti-inflamatório e anabólico, tem sido sugerida como uma medida terapêutica não farmacológica para prevenir e/ou reverter o excessivo catabolismo muscular subjacente à caquexia por indução da sobre-expressão da via PI3K/Akt/mTOR, inibição da proteólise, particularmente da via da ubiquitina-proteassoma,

Correspondência: José Alberto Duarte. Laboratório de Bioquímica, Faculdade de Desporto, Universidade do Porto. Rua Dr. Plácido Costa, 91, 4200-450 Porto, Portugal (jarduarte@fade.up.pt).