

Correlações entre centro de massa e centro de pressão

Correlations between center of mass and center of pressure

SILVEIRA MC, LEMOS LFC, PRANKE GI, MOTA CB. Correlações entre centro de massa e o centro de pressão. *R. bras. Ci. e Mov* 2013;21(1): 36-40.

Mateus C. Silveira¹
Luiz F. C. Lemos¹
Gabriel I. Pranke¹
Carlos B. Mota¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RESUMO: O equilíbrio postural é importante na realização das tarefas diárias, exigindo que o sistema nervoso central organize as informações enviadas pelos sistemas sensoriais (visual, vestibular e somatossensorial) e interaja com o neuromuscular para funcionamento ideal. Ele pode ser quantificado através do centro de pressão ou do centro de massa. O centro de massa é a variável que nos permite analisar o comportamento do equilíbrio, enquanto o centro de pressão é o ponto representativo da resultante da aplicação de todas as forças no solo. Porém, o centro de massa é de difícil mensuração e pode ser obtido através de diferentes tipos de métodos, dificultando o entendimento da relação com o centro de pressão. Logo, o propósito do estudo foi verificar as correlações entre o centro de massa calculado por métodos cinemáticos e o centro de pressão em homens adultos na situação de equilíbrio estático. Participaram do estudo 10 homens adultos jovens. Para obtenção dos dados de centro de massa foi utilizado o sistema VICON de cinemática. Os dados de centro de pressão foram obtidos através de uma plataforma de força AMTI OR6-6 1000. Foram analisadas as amplitudes de deslocamento e as velocidades médias de cada uma das variáveis, correlacionando-as através do teste de correlação Pearson. A força de correlação foi definida pelo critério de Malina e o valor de significância adotado para todos os testes foi de 0,05. As correlações entre as variáveis velocidade e amplitudes do centro de massa com as respectivas variáveis do centro de pressão foram todas fortes e significativas ($p < 0,05$), com maior força de correlação e significância para a situação de olhos fechados. Conclui-se que na análise do equilíbrio estático de homens jovens, tanto o centro de pressão quanto o centro de massa calculado por métodos cinemáticos são representativos.

Palavras-chave: Equilíbrio postural; Biomecânica; Adulto.

ABSTRACT: The postural balance is very important on diary tasks, challenging the central nervous system to process and synchronize the data sent from sensory systems (visual, vestibular and somatosensory) and interact with neuromuscular system for a better performance. It can be quantified by the center of pressure or by the center of mass. The center of mass is the variable which provides the real measurement of balance control, while the center of pressure is the representative point of the resultant forces on the ground. However the center of mass is difficult to measure and can be calculated by different methods, making hard to understand the relationship with the center of pressure. Therefore, the purpose of this study was to verify the correlations between center of mass calculated by kinematic methods and center of pressure in adult men in static balance condition. 10 adult men participated of the study. To assess the center of mass position, VICON kinematics system was used. The data of center of pressure was obtained using an AMTI OR6-6 1000 force plate. The range of movement and mean velocity of both was observed, correlating them with Pearson correlation test. The correlation power was determined by Malina criterion and the significance level adopted for all the tests used a p-value of 0,05. The correlation between center of mass and respective center of pressure variables (range of movement and velocity) are all strong and significant ($p < 0,05$). The correlations increase their power and significance when observed in closed eyes condition. It can be concluded that, in young adults static balance, either center of pressure or center of mass calculated by kinematic methods are representative.

Key Words: Postural balance; Biomechanics; Adult men.

Enviado em: 11/10/2012
Aceito em: 11/01/2013

Contato: Mateus Corrêa Silveira - mm.biomec@gmail.com

Introdução

O equilíbrio postural é uma valência física que descreve a dinâmica do corpo para evitar quedas, sendo muito importante nas tarefas diárias¹. A manutenção da postura exige que o sistema nervoso central organize as informações enviadas pelos sistemas sensoriais (visual, vestibular e somatossensorial) e interaja com o sistema neuromuscular para um funcionamento ideal²⁻⁴. Em aspecto mecânico, um corpo está em equilíbrio quando os somatórios das forças internas e externas e os momentos dessas forças agindo nele resultam em zero². Entretanto, o corpo humano nunca está submetido à condição de equilíbrio perfeito, oscilando constantemente mesmo quando em postura estática. Então, para avaliar o controle do equilíbrio postural é necessário quantificar essa oscilação corporal a partir de variáveis, como: o centro de pressão (COP) e o centro de massa (CM)⁵.

O COP representa o ponto onde está aplicada a resultante das forças verticais que o indivíduo exerce sobre o solo^{1,2,5} e pode ser medido através do uso de: sensores pressóricos (verificando forças aplicadas em uma determinada área) ou plataformas de força (que registram as forças e momentos aplicados em sensores de carga). A avaliação do equilíbrio postural estático através do COP tem sido realizada com diferentes intuitos, desde verificar efeitos de treinamentos esportivos ou funcionais, indo até avaliar tratamentos para lesões e outras intervenções no controle da postura⁶⁻⁸. Porém, o COP é apenas uma resposta de correção aos movimentos do CM para o controle do equilíbrio estático⁵. O CM representa verdadeiramente o controle do equilíbrio postural, sendo definido fisicamente como um ponto representativo do total da massa de um corpo¹.

No entanto, torna-se difícil visualizar a relação entre COP e CM pela problemática de estimar a localização e os deslocamentos do CM do indivíduo. Ao realizar avaliações do equilíbrio através do COP é possível tentar estimar a localização e os deslocamentos do CM através diferentes técnicas, como: a cinemática, a integração dupla da força horizontal dividida pela massa (*zero point to zero point double integration technique*) e a

utilização de filtros passa-baixas no sinal do COP^{2,5,8-12}. A compreensão da relação entre os dados de COP e CM é fundamental para reprodução de pesquisas avaliando o equilíbrio postural. Logo, o objetivo do presente trabalho foi verificar a correlação entre o COP e o CM calculado por métodos cinemáticos em homens adultos durante equilíbrio postural estático.

Materiais e Métodos

Fizeram parte do estudo 10 indivíduos adultos do sexo masculino. Todos os participantes praticavam de esportes (voleibol, futebol e handebol) com frequência mínima de duas vezes por semana. Como critério de exclusão do estudo foi adotado a verificação da presença de: qualquer tipo de distúrbios vestibulares, diabetes, lesões no sistema musculoesquelético ou dor lombar. A caracterização dos sujeitos da pesquisa está na Tabela 1.

Os protocolos deste estudo foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Maria sob o protocolo 0049.0.243.000-10.

Tabela 1. Média e desvio-padrão de idade, dados antropométricos e de frequência de prática esportiva dos participantes

	Média	Desvio-padrão
Idade (anos)	21,80	2,04
Estatuta (cm)	183,10	7,66
Massa (kg)	81,74	11,22
FSPE (semanas)	3,20	1,40
TPE (anos)	9,10	4,41

FSPE: Frequência semanal da prática esportiva. TPE: Tempo praticando o esporte

Os valores do COP foram obtidos através de uma plataforma de força *AMTI OR6-6 1000 (Advanced Mechanical Technologies, Inc.)* operando a 100 Hz e disposta a 8,5 cm do nível solo. As variáveis analisadas foram as amplitudes de deslocamento do COP nos eixos ântero-posterior (COPap) e médio-lateral (COPml), obtidas através diferença entre o valor máximo e mínimo

atingido pelo COP em cada direção. A velocidade média do COP (COPvm) também foi obtida, através da razão entre o valor de deslocamento total do COP pelo tempo de cada tentativa.

Os valores do CM foram obtidos através do sistema de cinemetria *VICON* (modelo 624, Oxford, Reino Unido), com o *software VICON NEXUS 1.5.2* para registro e processamento dos dados. Foram utilizadas sete câmeras com sinal infravermelho (MX câmeras), operando a uma frequência de 100 Hz, para reconhecimento de 39 marcadores reflexivos (14 mm de diâmetro) em pontos anatômicos do indivíduo (nos segmentos da cabeça, tronco, membros superiores e inferiores, mãos e pés), usados para o cálculo do CM a cada instante. A demarcação do sujeito foi realizada seguindo o modelo *PluginGait* (UPA & FRM), permitindo o cálculo do CM através de uma rotina contida no sistema *VICON*. Utilizaram-se os dados da projeção do CM no solo, relevando as oscilações verticais, considerando apenas as variáveis de CM correspondentes às observadas do COP (CMap, CMml e CMvm). Os instrumentos foram sincronizados durante as tentativas coletadas. Foi utilizado um filtro passa baixas *Butterworth* de 4ª ordem nos dados cinéticos e cinemáticos (frequências de corte de 10 Hz e 5 Hz respectivamente).

Foram realizadas seis tentativas para verificação dos dados de equilíbrio de cada sujeito. Nas três primeiras tentativas foi solicitado a cada participante que permanecesse em pé o mais estático possível sobre a plataforma durante 30 segundos, com foco visual em um círculo de 8,0 cm de diâmetro localizado em uma parede a uma distância de 3,4 m. Os indivíduos repetiram o procedimento em mais três tentativas, porém com os olhos fechados. A base de suporte (definida pelo polígono das laterais dos pés do sujeito²) foi mantida entre condições desenhando os pés afastados na largura do quadril em um papel colocado no solo antes da primeira tentativa. O protocolo executado seguiu as sugestões propostas por Duarte e Freitas².

As características dos indivíduos e as variáveis estudadas foram submetidas à estatística descritiva, correlacionando os valores de COP e CM com teste de

correlação de Pearson. A força de correlação entre as variáveis foi definida pelo critério de Malina (1996), sendo: fraca para valores inferiores a 0,3; moderada para valores entre 0,3 e 0,6 e forte para valores maiores que 0,6. O nível de significância dos testes foi de $\alpha < 0,05$.

Resultados

A Tabela 2 apresenta os valores de média e desvio-padrão das seguintes variáveis de COP e CM: amplitudes de deslocamento nas direções médio-lateral (COPml/CMml) e ântero-posterior (COPap/CMap), além de velocidade média (COPvm/CMvm) nas situações de olhos abertos (OA) e olhos fechados (OF).

A Tabela 3 contém os resultados das correlações entre os valores de CM e COP para as situações OA e OF. Todas as correlações entre a variável de CM e variável correspondente de COP foram fortes e significativas.

Discussão

Os resultados do presente estudo apontam correlações fortes e significativas entre o COP e o CM calculado por métodos cinemáticos para todas as variáveis e condições. A interação entre ambas as variáveis é preditiva para manutenção do equilíbrio estático^{1,2,13}, principalmente em função de que tanto o CM quanto o COP devem permanecer contidos na base de suporte (BOS) nesta situação². O COP oscila dentro ou próximo dos limites da BOS de um sistema, por se tratar de forças do sujeito agindo no solo. O CM ao extrapolar esses limites colocaria em cheque o controle da postura^{1,2}, explicando a similaridade de comportamento das variáveis. Todavia, é necessário alertar que Pai e Patton¹³ afirmam que a relação entre BOS e CM não satisfaz totalmente a condição de manutenção do equilíbrio estático, sendo necessário observar também a relação da BOS com a CMvm horizontal.

As fortes correlações encontradas na direção médio-lateral podem ser explicadas pela baixa oscilação necessária do COP para manter o CM estável nesse eixo, em função da estabilidade gerada pela articulação do quadril¹. Uma vez que há estabilidade articular nessa

direção, menores os efeitos dinâmicos do movimento e mais semelhantes são COP e CM^{1,2,5}. No presente artigo não se realizou uma análise dos resultados no domínio das frequências e nem da posição instantânea do COP e CM,

indicadores reais da frequência de oscilação do corpo^{1,10}, não possibilitando afirmar se a oscilação do indivíduo se relaciona à forte correlação entre as duas variáveis.

Tabela 2. Média (X) e desvio-padrão (SD) do centro de pressão (COP) e do centro de massa (CM) na situação olhos abertos (OA) e fechados (OF)

Variável	OA		OF	
	X	SD	X	SD
COPap (cm)	1,60	0,33	1,81	0,49
COPml (cm)	0,85	0,38	0,93	0,46
COPvm (cm/s)	0,87	0,15	1,04	0,29
CMap (cm)	1,51	0,36	1,44	0,35
CMml (cm)	0,59	0,25	0,65	0,34
CMvm (cm/s)	0,27	0,05	0,32	0,08

ap: ântero-posterior, ml: médio-lateral, vm: velocidade média

Tabela 3. Correlação entre o centro de pressão (COP) e o centro de massa (CM) nas situações de olhos abertos (OA) e olhos fechados (OF)

Variável	OA	OF	p-valor AO	p-valor OF
(CM / COP) AP	0,670	0,810	0,034*	0,004*
(CM / COP) ML	0,817	0,868	0,004*	0,001*
(CM / COP) VM	0,747	0,846	0,013*	0,002*

AP: ântero-posterior, ML: médio-lateral, VM: velocidade média, *: indica correlação significativa para $\alpha < 0,05$.

A forte correlação entre as variáveis de COP e CM pode ter explicação devido à prática de esportes do grupo estudado. Como baixas velocidades médias de COP e CM são indicativos de menor efeito dinâmico do movimento^{14,15}, um melhor desempenho neuromuscular para controlar as oscilações durante controle da postura possivelmente aumente a interação entre as variáveis. Como se sabe que atletas com maior nível de habilidade tendem a controlar a postura em situações de fadiga ou de perturbação mantendo o COP com menores oscilações¹⁶⁻¹⁸, é possível que o nível de prática de atividades do grupo do presente estudo tenha contribuído na interação COP/CM. Adicionalmente, sugere-se que a análise do

equilíbrio tanto por COP ou CM calculado por métodos cinemáticos pode ser confiável para o grupo de atletas.

Análises adicionais referentes às: frequências de oscilação, velocidades médias e acelerações específicas do COP e do CM, em ambas as direções de movimento, devem ser realizadas para elucidar dúvidas a respeito da relação entre as variáveis na situação de equilíbrio postural estático. Mesmo sem estas análises sugeridas é possível observar que, para as variáveis do presente estudo, o método cinemático para cálculo do CM tem fortes relações na com o COP para análise do equilíbrio postural em adultos jovens.

Conclusões

Este estudo reforça a correlação entre os dados de COP e CM calculado por métodos cinemáticos durante a análise do equilíbrio postural estático em homens adultos. Com isso, o controle da postura pode ser quantificado pelas variáveis do presente estudo (velocidade média, amplitude de deslocamento ântero-posterior e médio-lateral) tanto através do COP como através do CM.

Referências

1. Winter DA. Human balance and posture control during standing and walking. **Gait posture**. 1995;3(4):193-214.
2. Duarte M, Freitas SMSF. Revision of posturography based on force plate for balance evaluation. **Rev. bras. fisioter**. 2010;14(3):183-92.
3. Baldaço FO, Cadó VP, Souza Jd, Mota CB, Lemos JC. Analysis of proprioceptive training in the balance of women's futsal athletes. **Fisioter. mov**. 2010;23(2):183-92.
4. Ionescu E, Morlet T, Froehlich P, Ferber-Viart C. Vestibular assessment with Balance Quest: Normative data for children and young adults. **Inter. j. pediatr. otorhinolaryngol**. 2006;70(8):1457-65.
5. Mochizuki L, Amadio AC. Aspectos biomecânicos da postura ereta: a relação entre o centro de massa e o centro de pressão. **Rev. port. ciênc. desporto**. 2003;3(3):77-83.
6. Bonfim TR, Grossi DB, Paccola CAJ, Barela JA. Efeito de informação sensorial adicional na propriocepção e equilíbrio de indivíduos com lesão do LCA. **Acta ortop. bras**. 2009;17:291-6.
7. Kingma I, Toussaint HM, Commissaris DACM, Hoozemans MJM, Ober MJ. Optimizing the determination of the body center of mass. **J. biomech**. 1995;28(9):1137-42.
8. Nantel J, Termoz N, Ganapathi M, Vendittoli P-A, Lavigne M, Prince F. Postural balance during quiet standing in patients with total hip arthroplasty with large diameter femoral head and surface replacement arthroplasty. **Arch. phys. med. rehabil**. 2009;90(9):1607-12.
9. Lemos LFC, Teixeira CS, Mota CB. Low back pain and corporal balance of female brazilian selection canoeing flatwater athletes. **Rev. bras cineantropom. desempenho hum**. 2010;12(6):457-63.
10. Winter DA, Prince F, Patla A. Interpretation of COM and COP balance control during quiet standing. **Gait posture**. 1996;4(2):174-5.
11. Lafond D, Duarte M, Prince F. Comparison of three methods to estimate the center of mass during balance assessment. **J. biomech**. 2004;37(9):1421-6.
12. Heiss DG, Pagnacco G. Effect of center of pressure and trunk center of mass optimization methods on the analysis of whole body lifting mechanics. **Clin. biomech**. 2002;17(2):106-15.
13. Pai Y-C, Patton J. Center of mass velocity-position predictions for balance control. **J. biomech**. 1997;30(4):347-54.
14. Bonfim TR, Barela JA. Effect of the manipulation of sensorial information in proprioception and postural control. **Fisioter. mov**. 2007;20(2):107-17.
15. Cabeza-Ruiz R, García-Massó X, Centeno-Prada RA, Beas-Jiménez JD, Colado JC, González LM. Time and frequency analysis of the static balance in young adults with Down syndrome. **Gait posture**. 2011;33(1):23-8.
16. Kraemer EC, Marcon D, Tairova OS. Equilíbrio postural de canoístas profissionais. **Motriz rev. educ. fís**. 2009;15(4):797-803.
17. Vieira TdMM, Oliveira LFd. Equilíbrio postural de atletas remadores. **Rev. bras. med. esp**. 2006;12:135-8.
18. Yoshitomi SK, Tanaka C, Duarte M, Lima F, Morya E, Hazime F. Respostas posturais à perturbação externa inesperada em judocas de diferentes níveis de habilidade. **Rev. bras. med. esp**. 2006;12:159-63.