

DIFERENÇAS ENTRE A COMPARAÇÃO INTRA E INTER-SUJEITOS DE PARÂMETROS BIOMECÂNICOS DISCRETOS

C. M.B. Rodrigues *, M.V. Correia *, J. M.C.S. Abrantes**, J. Nadal*** e M.A.B. Rodrigues****

* INESC TEC (anteriormente INESC Porto) e

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal

** MovLab - Laboratório de Tecnologias e Interfaces /

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Lisboa, Portugal

*** Programa de Engenharia Biomédica - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil

**** Departamento de Eletrônica e Sistemas/Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil

e-mail: c.rodriques@fe.up.pt

Abstract: *In studies with different subjects at different experimental conditions, we are often faced with the need to compare results, placing the issue of differences between intra-subject comparison of paired results for each subject with its own results at each of the experimental conditions, or otherwise the comparison of the pooled results of all subjects at each of the experimental conditions taken the samples as independent. One of the conditions for applying certain statistical tests consists at the independence of the samples. However, some tests which have as a prerequisite for applying this independence condition of the samples are often applied in comparing the results of the same sample under different experimental conditions. Concerning the comparison of the results of the same sample under different experimental conditions, these samples do not check the independence condition, since tests at different experimental conditions are performed by the same subject so there is a connection between the results for each experimental condition which is the subject himself. Our study is conducted on intra and inter-subject comparison of discrete parameters of the center of gravity (CG) motion at different types of human lower limb countermovement and the respective muscles stretching and shortening cycles assessed at standard maximal vertical jumps. The study was conducted with a small sample ($n = 6$) students of physical and sport education and data were analyzed on the discrete motion parameters of the CG at each type of jump, having detected differences between intra and inter-subject comparisons statistically significant at $p < 0.05$ for several of considered parameters, suggesting the need for more careful verification of independency condition on application of independent statistical tests.*

Palavras-chave: Comparação inter-sujeitos, intra-sujeitos, parâmetros discretos, movimento, CG, CAE.

Introdução

No processamento digital de sinais biomédicos a extração e análise estatística de parâmetros discretos

consiste numa operação recorrente, já que permite a simplificação da análise e a comparação de valores associados a eventos semelhantes, instantes específicos, valores extremos, máximos ou mínimos e valores cumulativos relativos a intervalos temporais do sinal, com significado relevante para o estudo em presença.

Em particular, a avaliação quantitativa da locomoção humana representa um desafio para a pesquisa em função da elevada dimensionalidade, carácter dinâmico e elevada correlação fatorial dos sinais, Chau [1]. A avaliação e comparação de fenómenos associados à locomoção humana exigem a utilização de ferramentas para determinação da relação entre as variáveis com significado para o estudo. Apesar da simplificação introduzida pela extração de parâmetros discretos, estes deverão possuir um significado fisiológico associado, que permita evitar a subjetividade de parametrização e reduzir a dimensionalidade sem uma perda excessiva da estrutura temporal do sinal, Stergiou [2].

Não obstante as questões anteriores relativas à seleção de parâmetros discretos do sinal biomecânico, coloca-se ainda a questão sobre a comparação de resultados em diferentes condições experimentais de ensaios realizados com a mesma amostra e da verificação da condição de independência exigida por vários testes estatísticos quando se trata dos mesmos sujeitos utilizados nos ensaios das diferentes condições experimentais, bem como a diferença de resultados dos testes estatísticos aplicados a amostras tomadas como independentes ou de forma emparelhada.

O objetivo deste estudo consiste na avaliação das diferenças entre os resultados da aplicação de um conjunto de testes estatísticos de forma independente e emparelhada, para comparação intra e inter-sujeitos de um conjunto de parâmetros discretos selecionados de acordo com o significado fisiológico a partir dos perfis de força de reação do solo (FRS) relativos a um fenómeno determinante na locomoção humana, o ciclo de alongamento e encurtamento (CAE) muscular, avaliados em protocolos padrão de saltos de máxima impulsão vertical com diferentes tipos de contra-movimento [3].

Materiais e métodos

Nesta perspectiva, analisámos a componente vertical da FRS medida com recurso a plataforma de força AMTI BP2416-4000CE operando à frequência de aquisição 1000 Hz, acoplada a amplificador do mesmo fornecedor AMTI Mini Amp MAS-6, durante a fase de contato em diferentes situações de contramovimento dos membros inferiores humanos, nomeadamente em saltos de impulsão máxima vertical sem contramovimento (SJ), com contramovimento longo (CMJ) e contramovimento curto (DJ) com vista a avaliação da comparação de forma independente e emparelhada de um conjunto de parâmetros discretos relativos à componente de força de contato GRF_z . Os dados analisados são relativos a uma amostra composta por (n=6) sujeitos estudantes universitários do curso de educação física a quem foi explicado o protocolo experimental tendo assinado declaração escrita de consentimento informado de acordo com a *World Medical Association Declaration of Helsinki*. O protocolo da pesquisa foi aprovado em comité de ética local. Os sujeitos foram pesados ($76,7 \pm 6,7$) kg e medida a sua estatura ($1,789 \pm 0,049$) m tendo realizado cada sujeito um conjunto de 3 ensaios de acordo com o protocolo SJ, CMJ e DJ dos quais foi selecionado o melhor ensaio de cada protocolo com base no método do tempo de voo por ausência de contato com a plataforma de força e delimitada a fase de impulsão [4].

Com base nas séries temporais de GRF_z de cada um dos sujeitos (S1-S6) foram selecionados um conjunto de parâmetros relevantes de acordo com o fenómeno em estudo, nomeadamente $GRF_z \text{ min imp}$, $GRF_z \text{ max imp}$, $GRF_z \text{ mean imp}$, $GRF_z \text{ mean down}$, $GRF_z \text{ mean up}$, $GRF_z \text{ start up}$, $GRF_z \text{ take-off}$ e $GRF_z \text{ max land}$, respectivamente o valor mínimo, máximo e médio de GRF_z na fase de impulsão, o valor médio de GRF_z na fase descendente e ascendente de impulsão, o valor de GRF_z no instante de inversão da fase descendente para a fase ascendente de impulsão, o valor de GRF_z no instante de *take-off* e o valor máximo de GRF_z na fase de recepção após o voo. Estes valores foram em seguida comparados estatisticamente, de forma emparelhada numa análise intra-sujeitos (Fig. 1) e de forma independente numa análise inter-sujeitos (Fig. 2).

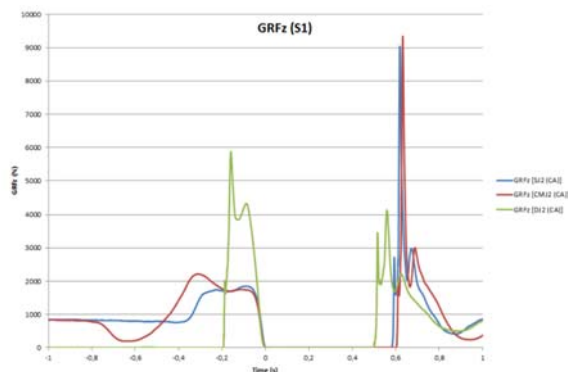


Figura 1: Séries temporais de GRF_z para SJ, CMJ e DJ agrupados por sujeito (S1).

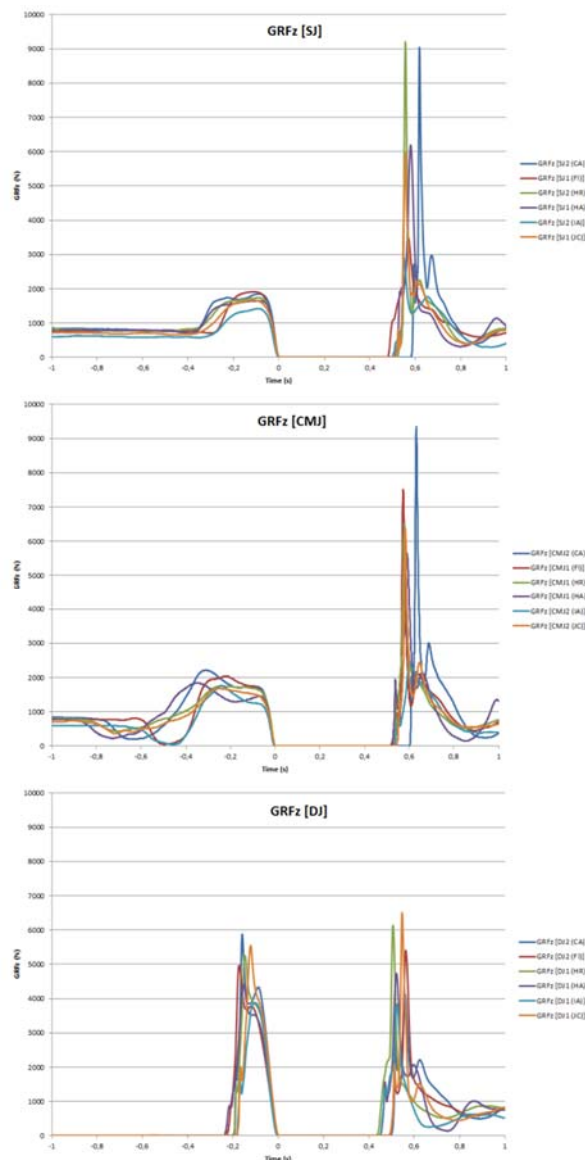


Figura 2: Séries temporais de GRF_z dos vários sujeitos (S1-S6) agrupados por tipo de salto SJ, CMJ e DJ.

Os testes na forma emparelhada foram aplicados com base em 3 novas medidas, correspondentes ao emparelhamento por sujeito das diferenças SJ-CMJ, CMJ-DJ e SJ-DJ para cada uma das variáveis anteriores, aplicando-se em seguida o teste *T-Student* para as médias as estas novas medidas de acordo com as hipóteses $H_0: \mu_k=0$; $H_1: \mu_k \neq 0$ com k o índice relativo a cada uma destas medidas. Os testes *T-Student* para as médias na forma independente foram aplicados às médias agrupadas das amostras para cada tipo de salto, com base nas hipóteses $H_0: \mu_i = \mu_j$; $H_1: \mu_i \neq \mu_j$ com i e j os índices correspondentes a cada um dos diferentes tipos de salto.

Os testes foram aplicados com recurso ao *Statistical Package for Social Sciences IBM SPSS 9.5.0.0* (SPSS, EUA) utilizando respectivamente as opções *Paired Samples T-Test* e *Independent Samples T-Test* para o nível de confiança 95%.

Resultados

Apresentam-se na Tabela 1 os resultados da comparação estatística emparelhada por sujeito e na Tabela 2 os resultados da comparação estatística como amostras

independentes para as três condições experimentais, SJ, CMJ e DJ, dos parâmetros discretos extraídos a partir de *GRFz*. Na Fig.3 apresentam-se os diagramas de *box-plot* correspondentes à análise estatística dos parâmetros discretos extraídos a partir de *GRFz*

Tabela 1: Resultados da comparação emparelhada de dados da *GRFz* com indicação das diferenças estatisticamente significativas *($p < 0,05$) para o nível de confiança dos testes estatísticos de 95%.

<i>GRFz</i> (N)	Paired Samples T-Test								
	SJ-CMJ	Std.	p	CMJ-DJ	Std.	p	SJ-DJ	Std.	p
<i>min imp</i>	473,33*	145,50	0,001	-1011,82*	325,68	0,001	-538,49*	368,68	0,016
<i>max imp</i>	-170,64*	161,56	0,049	-3112,85*	685,35	$<10^{-3}$	-3283,50*	624,93	$<10^{-3}$
<i>mean imp</i>	52,73	64,42	0,101	-1608,05*	271,22	$<10^{-3}$	-1555,32*	276,12	$<10^{-3}$
<i>mean down</i>	7,63*	4,63	0,010	-2209,88*	447,09	$<10^{-3}$	-2202,25*	450,68	$<10^{-3}$
<i>mean up</i>	-53,54	70,75	0,123	-882,80*	150,43	$<10^{-3}$	-936,33*	134,91	$<10^{-3}$
<i>start up</i>	-706,20*	121,21	$<10^{-3}$	-2026,56*	380,96	$<10^{-3}$	-2732,76*	406,91	$<10^{-3}$
<i>take-off</i>	2,82	4,25	0,165	-3,58	4,78	0,126	-0,76	3,55	0,623
<i>max land</i>	-174,98	2184,21	0,852	1029,38	2506,25	0,361	854,40	2775,26	0,485

Tabela 2: Resultados da comparação como amostras independentes de dados da *GRFz* com indicação das diferenças estatisticamente significativas *($p < 0,05$) para o nível de confiança dos testes estatísticos de 95%.

<i>GRFz</i> (N)	$\bar{x} \pm \text{Std.}$			Independent Samples T-Test					
	SJ	CMJ	DJ	SJ-CMJ	p	CMJ-DJ	p	SJ-DJ	p
<i>min imp</i>	689,61±69,45	216,28±163,39	1228,1±363,97	473,33*	$<10^{-3}$	-1011,82*	$<10^{-3}$	-538,49*	0,014
<i>max imp</i>	1708,69±173,61	1879,33±203,34	4992,19±739,75	-170,64	0,149	-3112,85*	$<10^{-3}$	-3283,49*	$<10^{-3}$
<i>mean imp</i>	1046,49±145,94	996,00±106,89	2604,05±313,48	50,49	0,510	-1608,05*	$<10^{-3}$	-1557,56*	$<10^{-3}$
<i>mean down</i>	758,03±83,31	750,42±83,14	2960,29±488,63	7,61	0,877	-2209,88*	$<10^{-3}$	-2202,26*	$<10^{-3}$
<i>mean up</i>	1422,68±162,77	1474,93±156,28	2357,73±205,12	-52,25	0,583	-882,80*	$<10^{-3}$	-935,05*	$<10^{-3}$
<i>start up</i>	1144,94±270,10	1853,31±207,95	3879,87±257,39	-708,37*	$<10^{-3}$	-2026,56*	$<10^{-3}$	-2734,93*	$<10^{-3}$
<i>take-off</i>	13,12±0,27 0	10,30±4,04	13,88±3,51	2,82	0,148	-3,58	0,132	-0,76	0,619
<i>max land</i>	6131,93±2658,38	6306,91±2282,28	5277,53±914,53	-174,98	0,905	1029,38	0,329	854,40	0,474

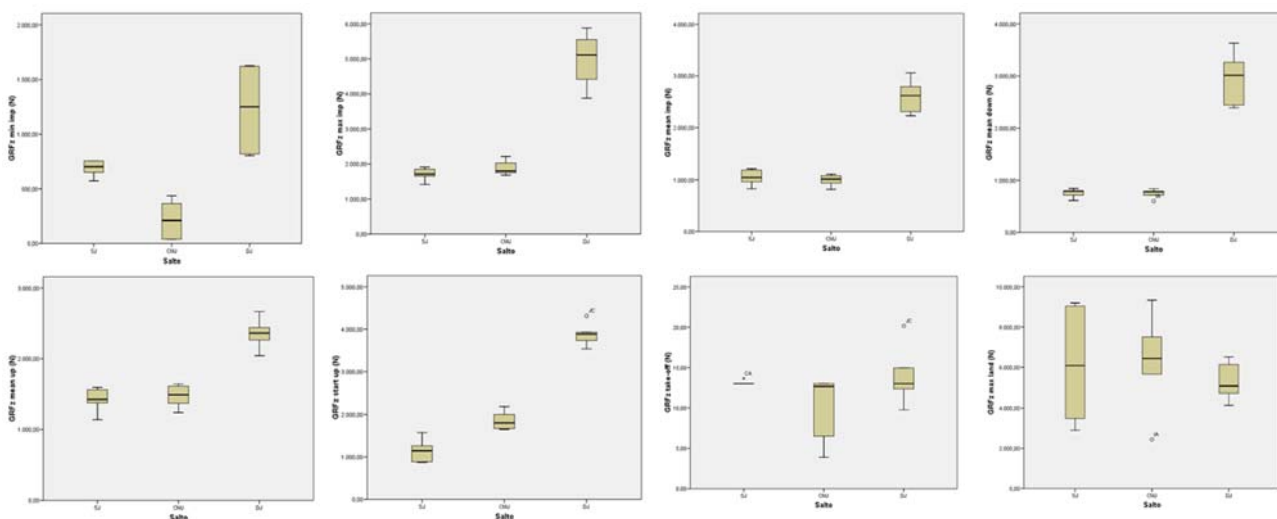


Figura 3: Diagramas de *box-plot* para as variáveis discretas *GRFz min imp*, *GRFz max imp*, *GRFz mean imp*, *GRFz mean down*, *GRFz mean up*, *GRFz start up*, *GRFz take-off* e *GRFz max land* extraídas de *GRFz* em SJ, CMJ e DJ.

Discussão

A generalidade dos parâmetros selecionados apresentam resultados semelhantes para as comparações na forma emparelhada (Tabela 1) e nas amostras tomadas como independentes (Tabela 2) para o nível de significância selecionado ($p < 0,05$). Existem no entanto algumas exceções entre os resultados das comparações nas formas emparelhada e independente como é o caso da comparação SJ-CMJ de *GRFz max imp* e *GRFz mean down*. Além disso o *p-value* aumenta significativamente para a generalidade das variáveis consideradas da comparação emparelhada SJ-CMJ para as amostras tomadas como independentes, correspondendo a uma menor sensibilidade ou capacidade de detectar diferenças na comparação das amostras quando tomadas como independentes em relação às comparações emparelhadas.

No contexto do significado fisiológico dos resultados obtidos para a comparação dos parâmetros anteriores [4] na forma emparelhada (comparação intra-sujeitos) e das amostras tomadas como independentes (comparação inter-sujeitos), *GRFz min imp* apresenta os mesmos resultados nas comparações intra e inter-sujeitos, com diferenças estatisticamente significativas (ES) ao nível de significância 0,05 com valores inferiores em CMJ relativamente a SJ e DJ, em função do contramovimento longo em CMJ e valores superiores em DJ relativamente a SJ, em virtude do contramovimento curto em DJ. Já a comparação de *GRFz max imp* apresenta diferenças intra-sujeitos ES, com valores superiores em DJ, por via do contramovimento curto, relativamente a CMJ e estes superiores a SJ, e diferenças ES nas comparações inter-sujeitos DJ-CMJ e DJ-SJ mas diferenças não ES na comparação SJ-CMJ. *GRFz mean imp* apresenta os mesmos resultados nas comparações intra e inter-sujeitos com diferenças ES e valores superiores em DJ relativamente a CMJ e SJ sem diferenças ES entre si. Já *GRFz mean down* apresenta diferenças entre todos os grupos SJ, CMJ e DJ com valores superiores em DJ relativamente a CMJ e SJ e valores ligeiramente superiores em SJ relativamente a CMJ com todas as diferenças ES na comparação emparelhada mas diferenças não ES na comparação como amostras independentes de SJ-CMJ. *GRFz mean up* apresenta os mesmos resultados para as comparações intra e inter-sujeitos com valores superiores e diferenças ES em DJ relativamente a CMJ e SJ e sem diferenças ES entre estes últimos. Quanto aos níveis de força no instante de inversão do movimento descendente para ascendente *GRFz start up*, estes apresentam também os mesmos resultados nas comparações intra e inter-sujeitos com valores superiores em DJ relativamente a CMJ e SJ e superiores em CMJ relativamente a SJ, todos com diferenças ES. Já *GRFz take-off* e *GRFz max land* apresentam os mesmos resultados nas comparações intra inter-sujeitos sem diferenças ES entre todos os grupos pelo que não são discriminatórias dos diferentes tipos de contramovimento e respectivos CAE's.

Estes valores instantâneos devem ser encarados numa perspectiva dual relativamente a outras variáveis físicas complementares, nomeadamente espaciais e temporais, bem como cruzados com o efeito produzido com base na avaliação da altura máxima de impulsão vertical. Os resultados anteriores na comparação intra e inter-sujeitos permitem ainda assim antecipar níveis de força na fase de impulsão superiores em DJ relativamente a CMJ e SJ avaliados através de *GRFz min imp*, *GRFz max imp*, *GRFz mean imp*, *GRFz mean down*, *GRFz mean up* e *GRFz start up*. Na comparação SJ-CMJ, CMJ apresenta valores inferiores de *GRFz min imp* e superiores de *GRFz max imp*. Já sobre a relevância e capacidade de aproveitamento destes maiores níveis de força em DJ relativamente a SJ e CMJ bem como das diferenças entre estes últimos, torna-se necessário avaliar a correlação com a máxima altura vertical obtida em cada tipo de salto.

Conclusão

A comparação de parâmetros discretos em análise intra e inter-sujeitos é fundamental em cinesiologia para detecção de diferenças entre sujeitos ou condições experimentais, mas os testes estatísticos selecionados devem ser adequados ao tipo de amostras em presença e a verificação dos pressupostos para aplicação de cada tipo de teste e estatística de teste é essencial para aplicação do teste mais adequado e detecção das diferenças em pesquisa de forma mais sensível como é o caso presente da maior adequação dos testes emparelhados nas condições em que existe uma relação entre as amostras em virtude dos ensaios serem realizados pelos mesmos sujeitos nas diferentes condições experimentais, e de as comparações intra e inter-sujeitos apresentam resultados distintos para várias das variáveis preditoras selecionadas.

Agradecimentos

Ao Prof. Carlos Carvalho do LMH/ISMAI que supervisionou os ensaios e aos colegas que contribuíram no processo de recolha de dados. À Univ. do Porto e à Università degli Studi di Roma "La Sapienza" que viabilizaram as mobilidades EBWII e BE MUNDUS.

Referências

- [1] Chau, T. A review of analytical techniques for gait data. Part 1: fuzzy, statistical and fractal methods. *Gait Posture*. 2001; 13(1): 49-66.
- [2] Stergiou, N. *Innovative Analyses of Human Movement*. IL: Human Kinetics; 2004.
- [3] Asmussen E, Bonde-Petersen F. Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiol. Scand*. 1974; 91: 385-92.
- [4] Aragón-Vargas, LF, Gross, MM. Kinesiological factors in vertical jump performance: differences among individuals. *Journ.l of Applied Biomechanics*. 1997; 13: 24-44.