

A influência da profundidade de agachamento no desempenho e em parâmetros biomecânicos do salto com contra movimento

Effect of squat depth on performance and biomechanical parameters of countermovement vertical jump

Rodrigo Ghedini Gheller¹
Juliano Dal Pupo²
Luis Antonio Pereira de Lima²
Bruno Monteiro de Moura²
Saray Giovana dos Santos²

Resumo – O objetivo do presente estudo foi analisar a influência de diferentes profundidades de agachamento no desempenho e em parâmetros biomecânicos no salto com contra movimento (CMJ). Participaram do estudo 22 atletas de voleibol ou basquetebol do sexo masculino, participantes de competições em nível regional e universitário. Os CMJ foram realizados em três condições: 1) com flexão relativa do joelho ao final da fase de contra movimento menor que 90° (CMJ<90°); 2) maior que 90° (CMJ>90°) e; 3) posição preferida (CMJ_{PREF}). Durante os CMJ foram mensurados: altura do salto, variáveis cinemáticas, cinéticas e eletromiográficas. ANOVA para medidas repetidas com post-hoc de Bonferroni foi utilizado na comparação das variáveis, adotando-se nível de significância de $p \leq 0,05$. O desempenho foi maior na situação PREF e <90° comparado ao CMJ >90°. A potência média e pico, a força máxima normalizada e absoluta, apresentaram os maiores valores na posição >90°. O pico de velocidade e as velocidades angulares de quadril e joelho apresentaram os maiores valores na posição <90°. A EMG do vasto lateral, durante as fases descendente e ascendente, foi maior na posição >90°. Os músculos reto femoral e bíceps braquial não apresentaram diferença entre as condições. Conclui-se que o desempenho e as variáveis biomecânicas analisadas no CMJ são influenciados pelo nível de flexão do joelho. As maiores alturas foram obtidas nos saltos realizados a partir de uma maior profundidade de agachamento, assim, tal estratégia técnica poderia ser utilizada por atletas a fim de otimizar a altura do salto vertical nos treinamentos e competições.

Palavras-chave: Ciclo alongamento-encurtamento; Desempenho; Salto vertical.

Abstract – The aim of this study was to analyze the effect of different squat depths in the performance and biomechanical parameters at counter movement jump (CMJ). Twenty-two male volleyball or basketball players volunteered to participate in this study and all were currently competing at the college level. The CMJ was performed in three different conditions: 1) with relative knee flexion at the end of counter movement phase smaller than 90° (<90°); 2) greater than 90° (>90°), and; 3) preferred position (PREF). During the CMJ, kinematic, kinetic, and electromyography parameters were assessed. ANOVA for repeated measures with post-hoc Bonferroni's test was used for variables comparison, with a significance level set at $p \leq 0.05$. The higher performance was on PREF and <90° situations compared with CMJ>90°. Average and peak power, as well as absolute and normalized peak forces, were higher in >90° CMJ. The peak velocity of CG and angular velocities of hip and knee were higher in the <90° condition. EMG activity of the vastus lateralis (VL) during the descending and ascending phases were higher in position >90°. Rectus femoris and biceps femoris did not show difference in any jump phases. In conclusion, the knee flexion interferes the performance and the biomechanical variables at the CMJ. The highest jumps were got at a deeper squat, so this technique could be used for athletes in order to optimize the vertical jump performance in the training and competitions.

Key words: Vertical jump; Stretch-shortening cycle; Performance.

1 Universidade Federal do Amazonas. Faculdade de Educação Física e Fisioterapia. Laboratório de Estudos do Desempenho Humano. Manaus, AM, Brasil.

2 Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Desportos. Laboratório de Biomecânica. Florianópolis, SC, Brasil.

Recebido em 25/11/2013
Revisado em 12/02/2014
Aprovado em 02/03/2014



Licença
Creative Commons

INTRODUÇÃO

O salto vertical tem sido um dos testes mais utilizados por técnicos, preparadores físicos e pesquisadores para avaliar a potência muscular dos membros inferiores de atletas de diferentes modalidades esportivas¹⁻². Além disso, o salto vertical é uma habilidade motora realizada em diversos esportes durante fundamentos como o ataque e bloqueio no voleibol, o rebote e a bandeja no basquetebol, entre outros.

Na intenção de maximizar o desempenho durante o salto vertical, atletas costumam assumir uma postura inicial específica e preferida, caso salte de uma posição estática, ou então, realizar uma determinada amplitude de agachamento nos saltos que envolvem contra movimento (CMJ). De acordo com Zatsiorsky³, a disposição dos segmentos corporais ou ajustes dos ângulos articulares durante as ações motoras define um determinado comprimento muscular. No caso do salto vertical, a modulação do nível de flexão do joelho, ou seja, a magnitude do agachamento precedente ao salto, bem como a movimentação do quadril, altera o comprimento dos músculos que passam pela coxa. Esses movimentos segmentares irão refletir em modificações na relação comprimento-tensão e conseqüentemente, na geração de impulso⁴. De acordo com a teoria das pontes cruzadas⁶, parece haver um comprimento muscular “ótimo” para produção de força, sendo que reduções na mesma são observadas à medida que as fibras musculares encontram-se em comprimentos muito encurtados ou alongados, condições em que há uma menor interação entre as pontes cruzadas⁶.

Alguns autores⁷⁻⁹ reportaram que a magnitude do agachamento influencia na altura atingida no salto, apesar de se encontrar na literatura resultados divergentes¹⁰. Além disso, alterações também são observadas em importantes preditores do desempenho no salto como força, potência e impulso⁷⁻⁸. De acordo com os referidos autores, a força e a potência parecem apresentar maiores magnitudes no salto vertical quando realizado em pequenas profundidades de agachamento. Por outro lado, maior impulso é observado nos saltos realizados a partir de maiores profundidades de agachamento devido ao aumento no tempo de aplicação de força⁸. Assim, é preciso entender em quais destas situações de ajuste corporal é possível maximizar a altura do salto.

Adicionalmente, alterações na ativação eletromiográfica (EMG) podem ocorrer devido às modulações no recrutamento muscular e na atuação dos componentes elásticos nesses diferentes ajustes corporais¹¹⁻¹². No entanto, os estudos têm apresentado certa inconsistência nos resultados em relação a este aspecto. Bobbert et al.⁹ não observaram diferença na ativação EMG em nenhum dos músculos dos membros inferiores analisados durante o salto vertical realizado em diferentes níveis de flexão de joelho. Já Sales et al.¹³ verificaram maior ativação EMG dos músculos gastrocnêmio, vasto lateral e glúteo máximo nos saltos realizados a 90° de flexão de joelho comparado a posições menos agachadas (50° e 70°). Um aspecto ainda em discussão na literatura é acerca dos músculos biarticulares, que por possuírem papel

mútuo no joelho e quadril durante o salto vertical, podem não apresentar uma mudança substancial no seu comprimento nos saltos realizados com diferentes ângulos de flexão de joelho e, assim, não modificar o padrão da atividade EMG.

Percebe-se que as investigações realizadas têm mostrado inconsistências no que tange a identificação das posições ou amplitudes articulares (principalmente de joelho e quadril) que possibilitem maximizar o desempenho no salto vertical, bem como quais variáveis biomecânicas são moduladas nestas situações que podem explicar o desempenho. Frente a esta problemática, o presente estudo objetivou analisar o desempenho, a atividade EMG dos músculos dos membros inferiores, além de parâmetros cinéticos e cinemáticos durante o salto com contra movimento (CMJ) realizado a partir de diferentes profundidades de agachamento. A principal hipótese do estudo é que o melhor desempenho no CMJ seja obtido em situações realizadas a partir de maiores profundidades de agachamento.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Sujeitos

Participaram do estudo 22 sujeitos do sexo masculino, praticantes de voleibol ou basquetebol, apresentando as seguintes características (média \pm DP): 23,5 \pm 3,6 anos; 82,4 \pm 9,8 kg; 185,5 \pm 6,3 cm; 13,8 \pm 3,3 % gordura; 4,8 \pm 2,5 anos de prática sistemática na modalidade. Os mesmos participavam de competições regionais e universitárias de nível estadual. Os critérios utilizados para seleção dos participantes foram: a) praticar algum esporte em que o salto vertical fizesse parte das ações de jogo (voleibol, basquetebol, handebol etc.); b) possuir tempo mínimo de um ano de prática na modalidade; c) treinar com frequência mínima de duas vezes por semana e; d) não apresentar nenhum tipo de lesão que os impossibilitassem de realizar as avaliações.

Os sujeitos que participaram do estudo foram primeiramente esclarecidos sobre os objetivos da pesquisa, para então assinarem o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. O presente estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisas com Seres Humanos da UFSC sob o número 01832712.0.0000.0121.

Delineamento do estudo

Os participantes compareceram em dois dias ao laboratório. Na primeira visita, foram realizadas medidas antropométricas e a familiarização com o CMJ em três diferentes profundidades de agachamento. A segunda visita foi destinada à coleta de dados propriamente dita. Neste dia, os participantes, inicialmente, realizaram um aquecimento que consistiu em alongamento estático com ênfase nos membros inferiores, cinco minutos de pedalada em um cicloergômetro a 50 Watts, duas séries de 10 saltitos de modo contínuo e entre cinco a seis CMJ submáximos.

Protocolo do CMJ

Para realização do CMJ, o indivíduo partiu de uma posição em pé e com as mãos na cintura. A partir desta, o mesmo deveria realizar um contra movimento (fase descendente ou de abaixamento), seguido de uma rápida extensão das articulações dos membros inferiores (fase ascendente ou de elevação). Foi solicitado ao atleta que realizasse os saltos a partir de três diferentes condições de flexão relativa máxima de joelho, sempre medidas ao final da fase descendente: 1) menor que 90° ($CMJ < 90^\circ$); 2) maior que 90° ($CMJ > 90^\circ$) e; 3) autos selecionada, denominada posição preferida (CMJ_{PREF}) (Figura 1). Solicitou-se que os sujeitos mantivessem o tronco na posição mais vertical possível durante os saltos.

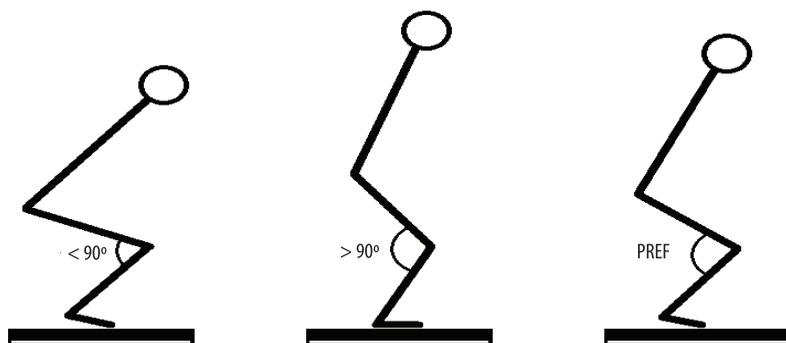


Figura 1. Ilustração esquemática das três situações testadas no CMJ.

O controle destes posicionamentos foi realizado via percepção subjetiva do sujeito treinado na familiarização. Nesta sessão, inicialmente, determinou-se o ângulo de 90° de flexão de joelhos, mensurado de modo estático com uso de um goniômetro, ângulo este considerado como referência pelos atletas. Após isso, solicitou-se aos participantes que realizassem diversas tentativas do CMJ, flexionando seus joelhos na fase descendente do salto além desta angulação ($< 90^\circ$) e demais tentativas, flexionando aquém dos 90° ($> 90^\circ$). As tentativas eram analisadas pelo avaliador que julgava possíveis ajustes necessários.

Os valores obtidos via análise cinemática dos ângulos relativos do joelho (J) e quadril (Q) no $CMJ < 90^\circ$ ($J=73,1 \pm 6,29^\circ$; $Q=50,0 \pm 12,34^\circ$), $CMJ > 90^\circ$ ($J=98,4 \pm 4,81^\circ$; $Q=92,0 \pm 14,31^\circ$) e CMJ_{PREF} ($J=84,9 \pm 6,81^\circ$; $Q=68,1 \pm 9,35^\circ$) indicaram que o controle dos posicionamentos estabelecidos foi eficaz. Foram realizadas três tentativas em cada situação testada, com um minuto de intervalo e em ordem de execução randomizada. Durante a realização dos saltos foram mensuradas variáveis cinemáticas, cinéticas e eletromiográficas.

Análise cinemática

Foi realizada uma videografia bidimensional do movimento no plano sagital, utilizando-se uma câmera digital (*Canon ELPH 500HS*) com frequência de aquisição de 120 Hz. A câmera foi posicionada sobre um tripé a uma distância de cinco metros do avaliado e a 1 m de altura do solo. Marcações reflexivas foram fixadas nas seguintes referências anatômicas: cabeça do quinto metatarso, maléolo lateral, epicôndilo lateral do fêmur, trocânter maior do fêmur e acrómio (lado direito).

A digitalização foi realizada no software *Video4Coach - SkillSpector* versão 1.2.4. Os dados brutos foram filtrados com filtro *butterworth* passa baixa de 4ª ordem com frequência de corte de 6 Hz, determinada a partir de análise espectral. A partir da digitalização das imagens realizou-se uma reconstrução bidimensional do movimento, obtendo-se os segmentos do tronco, coxa, perna e pé. Foram calculadas as seguintes variáveis: a) os ângulos relativos (graus) do quadril (entre os segmentos tronco e coxa), joelho (entre os segmentos coxa e perna) e tornozelo (entre os segmentos perna e pé); b) as velocidades angulares (graus/s) das respectivas articulações, obtidas a partir da derivação da posição angular em função do tempo. Tais variáveis foram obtidas no instante de transição entre as fases descendente e ascendente do salto, identificado pelo deslocamento vertical da referência anatômica do trocânter maior. Uma rotina desenvolvida no software *MatLab*® versão 7.9.0 foi utilizada na referida análise.

Análise cinética

Para mensurar o desempenho (altura) no CMJ e as variáveis cinéticas, utilizou-se uma plataforma de força (*Kistler, Quattro Jump, 9290 AD*, Switzerland) com frequência de amostragem de 500 Hz. A altura dos saltos verticais foi calculada utilizando-se o tempo de voo registrado pela plataforma, conforme a equação¹⁴:

$$h = \frac{1}{8} \cdot g \cdot t^2 \quad \text{Equação. 1}$$

No qual, h = altura do salto vertical (m); t = tempo de voo (s); g = aceleração da gravidade (constante a 9,81m.s⁻²).

Os dados de força de reação do solo (FRS) foram filtrados com um filtro *butherworth* passa baixa com frequência de corte de 10 Hz. A partir disto, foram identificadas as seguintes variáveis: a) velocidade de deslocamento vertical durante o salto, para o cálculo desta, inicialmente, obteve-se a curva de aceleração dividindo-se os valores de FRS pela massa corporal dos sujeitos. Subsequentemente, realizou-se uma integração trapezoidal da curva de aceleração obtendo-se a curva de velocidade. O maior valor obtido nesta curva, que ocorre imediatamente antes da perda de contato do pé com o solo (*take-off*), foi definido como pico de velocidade do centro de gravidade (PV_{CG}); b) potência pico (PP) e potência média (PM): obtidas a partir do produto entre FRS e a velocidade, na fase ascendente do salto; c) força máxima (F_{MAX}): maior valor obtido na fase ascendente do salto, expresso em termos absolutos (N) e relativizado pela massa corporal (%MC); d) taxa de desenvolvimento de força (TDF): calculada como a inclinação média da curva força-tempo nos 30 ms iniciais da fase ascendente.

Análise Eletromiográfica

Foi utilizada eletromiografia de superfície para monitorar a ativação dos músculos vasto lateral (VL), reto femoral (RF) e bíceps femoral (BF), com o emprego de eletrodos de superfície (AgCL3), na configuração bipolar,

conforme recomendações preconizadas pela SENIAM¹⁵. Um eletrodo de referência foi fixado da face anterior da tíbia. Para aquisição do sinal EMG, foi utilizado um eletromiógrafo (*Miotec, Miotool*, Porto Alegre, Brasil) com quatro canais de entrada operando na frequência de 2000 Hz.

Os sinais brutos foram filtrados, utilizando-se a combinação de filtros *Butterworth* de 5ª ordem tipo passa-banda entre 20 e 500 Hz. Foram calculados os valores de *Root Mean Square* (RMS) de cada músculo, para cada fase do salto (descendente e ascendente). Foi utilizado um *trigger* para sincronizar a EMG com a câmera de vídeo e, assim, determinar o início e o fim de cada uma das fases. Os valores RMS foram normalizados em função do maior valor RMS obtido na fase ascendente dentre as três tentativas do salto CMJ_{PREF} .

Tratamento estatístico

Para análise estatística, foram utilizados os dados do salto com melhor desempenho dentre as três tentativas de cada situação (PREF, <90° e >90°). Inicialmente, os dados foram submetidos à análise estatística descritiva (média e desvio padrão) para apresentação dos resultados. Posteriormente, a normalidade dos dados foi testada pelo teste *Shapiro-Wilk*, que apontou normalidade dos dados para todas as variáveis ($p > 0,05$). Ainda, a suposição da esfericidade pôde ser assumida mediante o resultado do teste de Mauchly ($p > 0,05$), apontando variâncias iguais. Compararam-se, então, a altura do salto, as variáveis cinéticas, cinemáticas e eletromiográficas entre as condições CMJ_{PREF} , $CMJ > 90^\circ$ e $CMJ < 90^\circ$ mediante a aplicação da ANOVA, com delineamento para medidas repetidas de um fator (i.e. condição do salto). O *post-hoc* de Bonferroni foi utilizado na identificação dos locais das diferenças entre as condições testadas. O valor da significância estatística adotada foi de $p \leq 0,05$. As análises estatísticas foram realizadas no SPSS versão 11.5.

RESULTADOS

Na tabela 1, são apresentadas as comparações do desempenho e dos parâmetros cinéticos entre as três condições testadas. A altura no $CMJ > 90^\circ$ foi menor ($F=60,69$; $p < 0,001$) quando comparada às situações PREF ($p < 0,001$) e $< 90^\circ$ ($p < 0,001$). A PM apresentou diferença ($F=17,61$; $p < 0,001$) entre todas as posições analisadas. Verificaram-se os maiores valores na posição $> 90^\circ$ comparado com PREF ($p=0,046$) e $< 90^\circ$ ($p < 0,001$). O PP apresentou diferença ($F=23,23$; $p < 0,001$) entre as posições, sendo observados menores valores na posição $< 90^\circ$ comparado ao PREF ($p=0,001$) e $> 90^\circ$ ($p < 0,001$). Ambas, F_{MAX} normalizada e absoluta apresentaram diferença ($F=12,60$; $p < 0,001$; $F=11,02$; $p < 0,001$, respectivamente) entre as posições. Tanto para a F_{MAX} normalizada quanto absoluta, verificaram-se os maiores valores na posição $> 90^\circ$ comparada à PREF ($p < 0,001$; $p=0,001$, respectivamente) e $< 90^\circ$ ($p=0,003$; $p=0,006$, respectivamente). Porém, não houve diferença entre as posições PREF e $< 90^\circ$. A TDF não apresentou diferença entre as três situações analisadas ($F=1,89$; $p=0,173$).

Tabela 1. Comparação da altura e dos parâmetros cinéticos obtidos no salto com contra movimento (CMJ) realizado nos diferentes níveis de flexões de joelho.

	CMJ _{PREF}	CMJ <90°	CMJ >90°	PO
Altura (cm)	37,83 ± 5,27a	38,51 ± 5,67a	33,25 ± 4,50b	1,0
PM (W.kg-1)	28,11 ± 5,08a	26,83 ± 4,47b	29,29 ± 4,91c	1,0
PP (W.kg-1)	52,81 ± 9,16a	50,74 ± 8,71b	53,41 ± 9,06a	1,0
F _{MAX} (N)	1920b,68 ± 285,92a	1909,14 ± 310,52a	2106,32 ± 314,50b	0,96
F _{MAX} (N.kg-1)	23,25 ± 2,43a	23,09 ± 2,40a	25,51 ± 2,66b	0,98
TDF (N.s-1)	2590,91 ± 1563,13	3107,64 ± 2286,67	2236,45 ± 1348,37	0,34

CMJ_{PREF} = Salto com contramovimento posição preferida; CMJ<90° = salto com contramovimento flexão do joelho menor que 90°; CMJ<90° = salto com contramovimento flexão do joelho maior que 90°; PM = potência média; PP = potência pico; F_{MAX} = força máxima; TDF = taxa de desenvolvimento de força; PO = poder observado no teste. Letras diferentes representam diferença entre as condições CMJ_{PREF}, CMJ <90° e CMJ >90°, enquanto que letras iguais mostram que não houve diferença entre estas situações.

Na tabela 2, são apresentadas as comparações do pico de velocidade (PV) e das velocidades angulares do quadril (VA_{QUA}), joelho (VA_{JOE}) e tornozelo (VA_{TOR}). Foi encontrada diferença (F=47,50; p<0,001) para o PV entre as condições testadas, em que a posição >90° apresentou menor valor comparado ao PREF (p<0,001) e <90° (p<0,001) que, por sua vez, não apresentaram diferença entre si (p=0,087). Quanto às velocidades angulares, observou-se diferença na VA_{QUA} (F=8,03; p=0,001) e VA_{JOE} (F=7,78; p=0,002). A VA_{QUA} foi menor na posição >90° quando comparada às posições PREF (p=0,006) e <90° (p=0,011), sem diferença entre estas (p=1,00). Maiores valores de VA_{JOE} foram encontrados na posição PREF comparada à <90° (p=0,05) e >90° (p=0,007). Já a VA_{TOR} não apresentou diferença entre os saltos realizados nas três posições (F=2,05; p=0,141).

Tabela 2. Comparação do pico de velocidade linear e das velocidades angulares obtidas no salto com contra movimento (CMJ) realizado nos diferentes níveis de flexões de joelho.

	CMJ _{PREF}	CMJ <90°	CMJ >90°	PO
PV _{CG} (m.s ⁻¹)	2,81 ± 0,18 ^a	2,84 ± 0,19 ^a	2,68 ± 0,17 ^b	1,0
VA _{QUA} (graus.s ⁻¹)	665,10 ± 96,18 ^a	651,97 ± 91,74 ^a	601,10 ± 83,84 ^b	0,89
VA _{JOE} (graus.s ⁻¹)	978,69 ± 104,19 ^a	915,71 ± 133,90 ^b	894,39 ± 113,09 ^b	0,81
VA _{TOR} (graus.s ⁻¹)	1004,17 ± 107,69	975,56 ± 101,15	1005,95 ± 121,56	0,38

CMJ_{PREF} = Salto com contramovimento posição preferida; CMJ<90° = salto com contramovimento flexão do joelho menor que 90°; CMJ<90° = salto com contramovimento flexão do joelho maior que 90°; PV = pico de velocidade; VA_{QUA} = velocidade angular do quadril; VA_{JOE} = velocidade angular do joelho; VA_{TOR} = velocidade angular do tornozelo; PO = poder observado no teste. Letras diferentes representam diferença (p≤0,05) entre as condições CMJ_{PREF}, CMJ <90° e CMJ >90°, enquanto que letras iguais mostram que não houve diferença entre estas situações.

Na figura 2, estão apresentadas as comparações da atividade EMG (%RMS) dos músculos RF (painel A), BF (painel B) e VL (painel C) durante a fase ascendente do CMJ. Não houve diferença entre as posições PREF, <90° e >90° para os músculos RF (F=0,03; p=0,971) e BF (F=1,93; p=0,162). Já o VL apresentou diferença significativa (F=6,18; p=0,005) entre as três posições no CMJ, verificando-se maiores valores na posição >90° comparada às posições PREF (p=0,018) e <90° (p=0,05).

Na figura 3, estão apresentadas as comparações dos valores EMG dos músculos RF (painel A), BF (painel B) e VL (painel C) na fase descendente nas três

situações do CMJ. Os músculos RF ($F=0,71$; $p=0,482$) e BF ($F=1,64$; $p=0,185$) não apresentaram diferença significativa entre as três posições analisadas. Foi encontrada diferença entre as situações para o VL ($F=5,79$; $p=0,008$), com os maiores valores na posição $>90^\circ$ comparado com a PREF ($p=0,035$) e $<90^\circ$ ($p=0,029$).

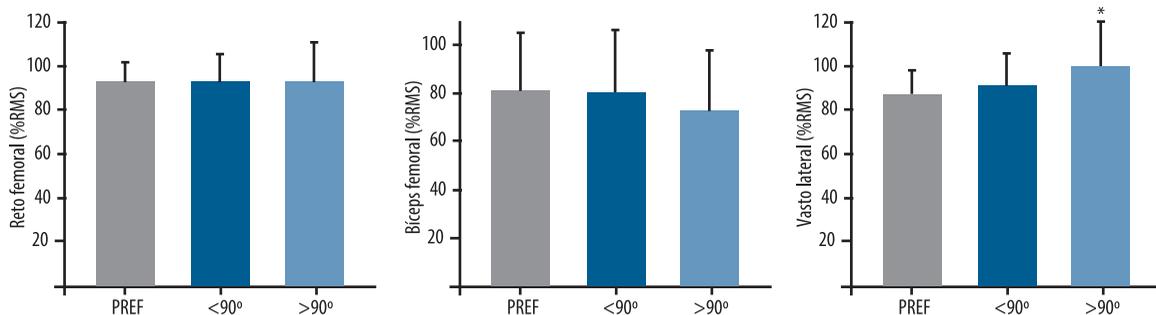


Figura 2. Comparação da ativação EMG (%RMS) do reto femoral (A), bíceps femoral (B) e vasto lateral (C) durante a fase ascendente do CMJ realizado nos diferentes níveis de flexões de joelho. CMJ_{PREF} = Salto com contramovimento posição preferida; CMJ $<90^\circ$ = salto com contramovimento flexão do joelho menor que 90° ; CMJ $>90^\circ$ = salto com contramovimento flexão do joelho maior que 90° ; * indica maior ativação EMG no CMJ $>90^\circ$ em comparação ao CMJ_{PREF} e CMJ $<90^\circ$.

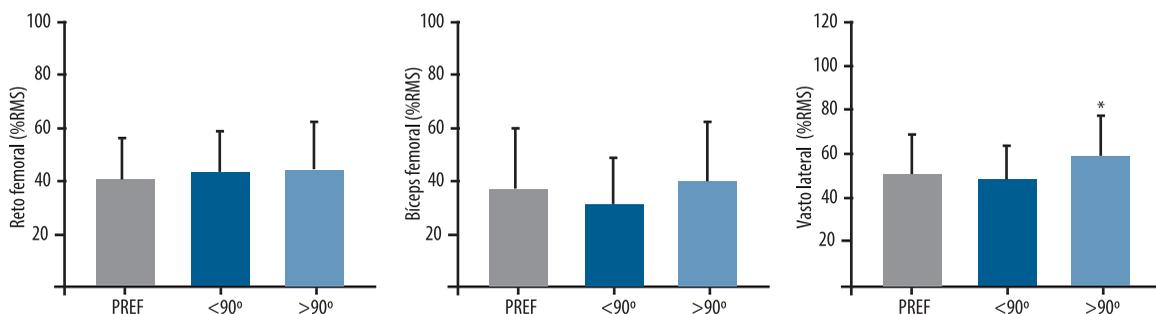


Figura 3. Comparação da ativação EMG (%RMS) do reto femoral (A), bíceps femoral (B) e vasto lateral (C) obtido durante a fase descendente do CMJ realizado nos diferentes níveis de flexão de joelho. CMJ_{PREF} = Salto com contramovimento posição preferida; CMJ $<90^\circ$ = salto com contramovimento flexão do joelho menor que 90° ; CMJ $>90^\circ$ = salto com contramovimento flexão do joelho maior que 90° ; * indica maior ativação EMG no CMJ $>90^\circ$ em comparação ao CMJ_{PREF} e CMJ $<90^\circ$.

DISCUSSÃO

O principal resultado do presente estudo foi que o desempenho no CMJ sofreu alterações em função da profundidade de agachamento ou magnitude da flexão de joelho. Essas alterações no desempenho podem ser explicadas, primariamente, em função das modificações no comprimento muscular decorrentes das modulações dos ângulos articulares realizados neste estudo. Sabe-se que existe um comprimento muscular “ótimo” para a produção de força, de modo que em comprimentos musculares muito encurtados ou alongados a força produzida fica diminuída⁴, possivelmente, prejudicando o desempenho motor.

Os resultados mostraram que as alturas obtidas nos saltos realizados com a flexão máxima de joelho preferida ou com uma menor que 90° (mais agachados) são maiores quando comparadas àquelas obtidas em posições menos agachadas ($>90^\circ$). Tais resultados corroboram os resultados de investigações prévias⁷⁻⁸⁻¹³ que demonstraram uma relação direta entre a profundidade do agachamento e desempenho no CMJ. De acordo com

Moran e Wallace¹⁶, o desempenho no CMJ melhora 17% quando o salto é realizado com ângulo de flexão de joelho a 90° comparado a 70° (com 0° representando extensão total). Resultados semelhantes também foram observados por Salles et al.¹³, que registraram o melhor desempenho nos saltos realizados com maior amplitude de movimento (90° de flexão de joelho) comparado às posições de menor amplitude (50° de flexão de joelho), em que 0° indica extensão total da referida articulação.

Buscando-se compreender e encontrar as possíveis causas das diferenças de desempenho no CMJ, realizaram-se as análises cinética, cinemática e eletromiográfica do movimento. Inicialmente, tratando-se das variáveis cinéticas, consideradas causadoras do movimento, verificou-se que a força máxima (absoluta ou relativizada) e a potência apresentaram os maiores valores nos saltos realizados à menor profundidade do agachamento (>90°), fato corroborante com outras investigações⁷⁻⁸ em que o CMJ realizado nas menores profundidades de agachamento foi o que resultou nos maiores níveis de potência e força.

Contudo, é interessante o fato de que na situação testada em que se verificaram os maiores valores de força e potência, ou seja, a >90°, o melhor desempenho não foi verificado. Isto sugere que a força máxima passa a ser mais determinante na situação em que o tempo para a transmissão do impulso (“quebra” da inércia) é menor, como é o caso do CMJ >90, em que valores superiores de força e potência de fato foram registrados. Já no CMJ <90, havendo maior tempo para aplicação de força e transmissão de impulso, foram observados menores valores de força. Assim, tais dados sugerem que, para a obtenção do melhor desempenho, deve-se primar pelo maior tempo de aplicação de força (agachar mais), de modo que o desenvolvimento de uma força máxima seja menos prioritário. Destaca-se que tal estratégia parece interessante em situações em que a força máxima de um indivíduo encontra-se comprometida (e.g. fadiga, lesões, baixa aptidão de força).

Em relação à TDF, considerada determinante do desempenho no salto vertical¹⁷, verificou-se que a modulação dos ângulos articulares e seus reflexos diretos no comprimento muscular não parecem alterá-la no CMJ.

Quanto às variáveis cinemáticas, verificou-se que o PV_{CG} foi maior no CMJ realizado com maior agachamento, corroborando resultados de investigações prévias⁸⁻¹³. Possivelmente, a maior velocidade obtida nesta situação seja devido ao maior tempo de aplicação de força e/ou aceleração⁸. Diversos autores²⁻¹⁸ apontam que o PV_{CG} , obtido no momento em que o pé abandona o solo, é considerado o principal determinante da altura do salto vertical, visto que, em última análise, a máxima altura alcançada no salto é função unívoca da velocidade de saída do solo¹⁹.

De acordo com Vanrenterghem et al.²⁰, a velocidade angular dos segmentos é um dos fatores determinantes para que uma maior velocidade de translação do centro de massa seja atingida. No presente estudo, a maior VA_{QUA} , por exemplo, foi obtida nos CMJ <90 e PREF, situações em que se observaram as maiores velocidades lineares do CG e melhores desempenhos. Tem sido observado que, em saltos verticais realizados com maiores profundidades de agachamento, ocorreram os maiores ângulos de flexão

não apenas do joelho, mas também do quadril¹⁰⁻¹⁶. Esta manobra torna-se inevitável nos saltos com maior amplitude buscando a manutenção do equilíbrio corporal⁵. A maior amplitude de deslocamento angular ocorrida no quadril acabou resultando em maior velocidade angular nesta posição (CMJ <90), influenciando positivamente em uma maior velocidade de saída e, conseqüentemente, o desempenho do salto.

Por último, analisando os dados EMG coletados, verificou-se que o músculo VL apresentou maior ativação no CMJ >90° do que nas demais situações (PREF e <90°), tanto durante as fases excêntrica como a concêntrica. Tal resultado contrapõe-se ao estudo de Salles et al.¹³, em que a atividade EMG do referido músculo foi maior nos saltos realizados no ângulo de 90° e menor no ângulo de 50° de flexão de joelho (0° = extensão total). Já Bobbert et al.⁹ não observaram alterações na ativação EMG do músculo vasto lateral durante a realização de saltos verticais em cinco diferentes flexões de joelho. No presente estudo, a menor ativação EMG observada no VL durante o CMJ realizado nas maiores profundidades de agachamento pode ser devida ao aumento da participação dos elementos elásticos (em paralelo) na produção de força neste tipo de salto. De acordo com Herzog et al.¹¹, em ações dinâmicas, além dos elementos contráteis, a produção total de força muscular é muito influenciada pelos elementos elásticos. Assim, se em maiores comprimentos musculares houver uma maior contribuição destes elementos, reduzir-se-ia a participação do “maquinário” contrátil (sarcômeros), diminuindo o recrutamento neural e, conseqüentemente, a atividade EMG¹¹⁻²¹.

Para os músculos biarticulares RF e BF, os valores RMS foram similares durante a fase concêntrica nas três situações testadas. Da mesma forma, Mohamed et al.²¹ também não observaram diferenças na atividade EMG quando alterado o comprimento dos músculos biarticulares pela manipulação do grau de extensão/flexão de joelho e quadril. O fato de não haver alterações EMG destes músculos em função da flexão do joelho pode estar relacionado à sua natureza biarticular. Segundo Escamilla²², é difícil determinar se os músculos isquiotibiais (exceto bíceps cabeça curta) e o RF, por serem biarticulares, agem excêntrica ou concêntrica durante o salto. Segundo o autor, os mesmos podem, inclusive, atuar isometricamente durante o movimento. Durante a fase ascendente do CMJ, por exemplo, o RF encurta-se com a extensão do joelho e alonga-se com a extensão do quadril. Em função disso, tais músculos podem não apresentar uma mudança substancial no seu comprimento e, assim, não modificar o padrão da atividade EMG nos saltos realizados com diferentes ângulos de flexão de joelho.

CONCLUSÕES

Frente aos resultados obtidos, pode-se concluir que a altura e as variáveis biomecânicas obtidas no CMJ são influenciadas pela profundidade de agachamento, definida pelo nível de flexão do joelho. Verificou-se que as maiores alturas foram obtidas nos saltos realizados a partir de uma maior profundidade de agachamento, situação esta em que também se registrou

a maior velocidade vertical no instante de decolagem (*take-off*) e as maiores velocidades angulares. Por outro lado, nestas situações ocorreu menor produção de força e menor ativação eletromiográfica do músculo vasto lateral. Assim, flexionar mais os joelhos (abaixo de 90°) poderia ser uma estratégia técnica a ser utilizada por atletas a fim de otimizar o desempenho do salto vertical com contra movimento nos treinamentos e competições.

REFERÊNCIAS

1. Bosco C, Luhtanen P, Komi PV. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol* 1983;50(2):273-82.
2. Yamauchi J, Ishii N. Relations between force-velocity characteristics of the knee-hip extension movement and vertical jump performance. *J Strength Cond Res* 2007;21(3): 703-9.
3. Zatsiorsky VM. Biomechanics in sports: performance enhancement and injury prevention. London: Wiley-Blackwell, 2000.
4. Bobbert MF, Casius LJR. Is the effect of a countermovement on jump height due to active state development? *Med Sci Sports Exerc* 2005;37(3):440-6.
5. Gordon AM, Huxley AF, Julian FJ. The variation in isometric tension with sarcomere length in vertebrate muscle fibres. *J Physiol* 1966;184(1):170-92.
6. Rassier DE, MacIntosh BR, Herzog W. Length dependence of active force production in skeletal muscle. *J Appl Physiol* 1999;86(5):1445-57.
7. McBride JM, Kirby TJ, Haines TL, Skinner J. Relationship between relative net vertical impulse and jump height in jump squats performed to various squat depths and with various loads. *Int J Sports Physiol Perform* 2010;5(4):484-96.
8. Kirby TJ, McBride JM, Haines TL, Dayne AM. Relative net vertical impulse determines jumping performance. *J Appl Biomech* 2011; 27(3):207-14.
9. Bobbert MF, Casius LJR, Sijpkens IWT, Jaspers RT. Humans adjust control to initial squat depth in vertical squat jumping. *J Appl Physiol* 2008;105(5):1428-40.
10. Domire ZJ, Challis JH. The influence of squat depth on maximal vertical jump performance. *J Sports Sci* 2007;25(2):193-200.
11. Herzog W, ter Keurs HEDJ. Force-length relation of in-vivo human rectus femoris muscles. *Eur J Appl Physiol* 1988; 411(6):642-7.
12. Enoka RM. Bases neuromecânicas da cinesiologia. São Paulo: Manole; 2000.
13. Salles AS, Baltzopoulos V, Rittweger J. Differential effects of countermovement magnitude and volitional effort on vertical jumping. *Eur J Appl Physiol* 2011;111(3):441-8.
14. Moir GL. Three different methods of calculating vertical jump height from force platform data in man and women. *Meas Phys Educ Exerc Sci* 2008;12(4):207-18.
15. Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol* 2000;10(5):361-74.
16. Moran KA, Wallace ES. Eccentric loading and range of knee joint motion effects on performance enhancement in vertical jumping. *Hum Mov Sci* 2007;26(6):824-40.
17. McLellan CP, Lovell, DI, Gass, GC. The role of rate of force development on vertical jump performance. *J Strength Cond Res* 2011;25(2):379-85.
18. Dal Pupo J, Detanico D, Santos SG. Parâmetros cinéticos determinantes do desempenho nos saltos verticais. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum* 2012, 14(1):41-51.
19. Halliday D, Resnick R, Walker J. Fundamentos de física: mecânica. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
20. Vanrenterghem J, Lees A, Lenoir M, Aerts P, Clercq D. Performing the vertical jump: Movement adaptations for submaximal jumping. *Hum Mov Sci* 2004;22(6):713-27.
21. Mohamed O, Jacquelin P, Helen H. Relationship between wire EMG activity, muscle length, and torque of the hamstrings. *Clinical Biomech* 2002;17(8):569-79.
22. Escamilla RF. Knee biomechanics of the dynamic squat exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33(1):127-41.

Endereço para correspondência

Rodrigo Ghedini Gheller
Rua Joaquim Nabuco, nº 1458 - B,
bairro: centro
CEP: 69020-030
Manaus-AM
E-mail: rodrigo.gheller@gmail.com