

ARTIGO DE REVISÃO

ASPECTOS NEUROMECÂNICOS DO EXERCÍCIO AGACHAMENTO

NEUROMECHANICAL ASPECTS OF THE SQUAT EXERCISE

Paulo Henrique Marchetti^{1,2},
Willy Andrade Gomes^{1,2},
Danilo Atanázio da Luz Junior¹,
Bruna Giampaoli¹,
Mariana Antas de Amorim¹,
Heloise de Luna Bastos¹,
Daniel Takeshi Ito³;
Guanis de Barros Vilela Junior^{2,6};
Charles Ricardo Lopes^{2,5};
André Serra Bley⁴.

¹Grupo de Pesquisa em Neuromecânica do Treinamento de Força (GNTF), Faculdade de Educação Física da Associação Cristã de Moços de Sorocaba, Sorocaba, SP, Brasil.

²Grupo de Pesquisa em Performance Humana, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Educação Física, Faculdade de Ciências da Saúde (FACIS), UNIMEP, Piracicaba, SP, Brasil.

³Curso de Educação Física, Universidade Nove de Julho (UNINOVE), São Paulo, SP, Brasil.

⁴Curso de Fisioterapia, Universidade Nove de Julho (UNINOVE), São Paulo, SP, Brasil.

⁵Faculdade Adventista de Hortolândia, Hortolândia, São Paulo, Brasil.

⁶METROCAMP, Campinas, SP, Brasil.

Endereço para correspondência:

Paulo H. Marchetti

Universidade Metodista de Piracicaba

Rodovia do Açúcar Km 156, Bloco 7, Sala 32, Taquaral

13400-911 - Piracicaba, SP – Brasil

E-mail: pmarchetti@unimep.br

RESUMO

Atualmente o treinamento de força vem sendo muito utilizado em diferentes contextos e para diversos objetivos: atléticos, recreacionais, estéticos e terapêuticos. Indubitavelmente, um dos exercícios mais utilizados no treinamento de força, visando o desenvolvimento da musculatura inferior é o agachamento. O presente trabalho teve como objetivo revisar diversos aspectos anatômicos, cinesiológicos e biomecânicos do exercício agachamento, assim como suas possíveis variações como as variações no posicionamento dos membros inferiores, os efeitos da amplitude de execução, as diferenças entre o exercício guiado e não guiado e as diferenças no posicionamento da barra em relação ao tronco. O entendimento das diversas variações pode influenciar na correta prescrição, correção e orientação deste exercício durante o treinamento de força ou reabilitação. Desta forma, após os a análise dos trabalhos revisados, podemos concluir que as diferentes variações e condições impostas ao exercício agachamento podem acarretar em mudanças na ação dos músculos envolvidos, na cinemática e/ou cinética do exercício, aumentando ou diminuindo sua performance e/ou eficiência.

Palavras Chave: musculação, cinesiologia, biomecânica.

ABSTRACT

Actually the strength training has been widely used in different contexts and for different purposes: athletic, recreational, esthetic and therapeutic. Undoubtedly, one of the most widely used exercises in strength training, aiming at the development of the muscles is the squat. The present study aimed to review several anatomical, biomechanical and kinesiological aspects of the squat exercise, as well as their possible variations as differences in lower limb positioning, the effects in the amplitude of the execution, differences between guided and non-guided exercise and the differences in positioning of the bar related to the trunk. The understanding of several variations can influence in the correct prescription, correction and orientation of this exercise for strength training or rehabilitation. In this way, after the review of several papers about this exercise, we can conclude that the different variations and conditions imposed on the squat exercise may result in changes in the action of muscles, kinematics and kinetic, and consequently increasing or decreasing their performance and/or efficiency.

Keywords: resistance training, kinesiology, biomechanics.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente o treinamento de força é utilizado em diferentes contextos e para diversos objetivos: atléticos, recreacionais, estéticos e terapêuticos. Indubitavelmente, um dos exercícios mais utilizados no treinamento de força, visando o desenvolvimento da musculatura de membros inferiores, particularmente o reto femoral, vasto lateral, vasto medial, vasto intermédio e glúteo máximo é o agachamento (1). O exercício agachamento é muito popular aparecendo no treinamento de praticantes recreacionais, atletas de diversas modalidades esportivas, e principalmente por aqueles que o exercício faz parte da modalidade como o *Powerlifting* (2, 3). Nas academias de ginástica, o objetivo da prática do agachamento é variado, desde terapêuticos, profiláticos, performance, ou estéticos, todos visando, em diferentes níveis a hipertrofia muscular. Diversos são os fatores biomecânicos (ex: velocidade, amplitude, número de articulações envolvidas) que podem afetar a execução deste exercício e conseqüentemente na atividade muscular, interferindo na efetividade do programa de treinamento.

O presente trabalho teve como objetivo realizar uma breve revisão de literatura sobre os aspectos anatômicos, cinesiológicos e biomecânicos do exercício agachamento, e algumas de suas variações. Tal entendimento pode influenciar na correta utilização e prescrição deste exercício durante o treinamento de força.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado a partir de uma revisão de literatura. Foram pesquisados 34 artigos nacionais e internacionais retirados das bases de dados, Medline; SciELO; PUBMED e Google Acadêmico, publicados entre os anos de 1976 e 2011. Os termos-chave utilizados no idioma português foram: agachamento, biomecânica, membros inferiores. Já para o inglês os termos-chave utilizados foram: squat, biomechanics, lower limb.

3. REVISÃO DE LITERATURA

O exercício de agachamento pode ser analisado em dois momentos distintos, baseado no efeito da sobrecarga externa aplicada durante o exercício e em relação aos movimentos realizados. O agachamento se inicia quando o indivíduo parte da posição neutra (ortostática). Antes do início do movimento do

agachamento, o centro de pressão é projetado anteriormente, por volta de 50% do comprimento do pé, medido inicialmente no calcanhar (4).

Durante a descida do agachamento (fase excêntrica) o indivíduo flexiona as articulações e quando a amplitude desejada é atingida inicia-se a fase de subida (fase concêntrica), realizando a extensão das referidas articulações(5, 6). Na posição inicial da fase concêntrica as articulações acetábulo-femorais (quadril) encontram-se flexionadas, as articulações do joelho flexionadas e os tornozelos flexionados dorsalmente, portanto, durante a mesma os movimentos realizados são a extensão dos quadril, extensão dos joelhos e flexão plantar.

No deslocamento para baixo ocorrem as fases de aceleração e desaceleração do centro de gravidade; no momento da transição (isometria), a aceleração e a velocidade se anulam, antes de iniciar o deslocamento para cima. Para isso são solicitados os seguintes grupos musculares: extensores do quadril que são formados pelos músculos glúteo máximo, semitendíneo, semimembráceo e bíceps femoral; extensores do joelho formados pelos músculos vasto medial, vasto intermédio, vasto lateral e reto femoral; e, pelos flexores plantares formados pelos músculos sóleo e gastrocnêmios (lateral e medial) (4, 6-11).

3.1. Cinesiologia do exercício agachamento

Durante o exercício agachamento diversos músculos são ativados de forma dinâmica ou isométrica (incluindo abdominais, eretores de coluna, trapézio, rombóides, etc.). Dentre tais músculos (de ação dinâmica ou isométrica), uma descrição mais detalhada das características anatômicas e funcionais dos músculos relacionados ao agachamento será realizada, visando o entendimento dos torques efetuados durante os movimentos articulares.

Articulação do quadril: é caracterizado por uma articulação sinovial esferoidal (amplamente móvel), realizando adução/abdução (plano frontal), flexão/extensão (plano sagital) e rotação medial/lateral ou adução/abdução horizontal (plano transversal). No agachamento, há envolvimento dos músculos glúteo máximo e isquiotibiais. O termo glúteo (*gloutós*) segundo Hipócrates (300 a.C.) designava qualquer estrutura saliente arredondada, mas posteriormente o termo passou a

ser usado apenas com referência à área e à musculatura das nádegas(7). O músculo glúteo máximo se origina no ílio, posteriormente à linha glútea posterior, nas faces dorsais do sacro, cóccix e ligamento sacrotuberal, na aponeurose do eretor da espinha e na aponeurose glútea. A maior parte da inserção terminal do glúteo máximo é no trato iliotibial, aproximadamente toda a metade superior do músculo e a metade posterior da restante tendo esta inserção, enquanto só a metade anterior ou profunda da parte inferior se insere na tuberosidade glútea do fêmur. É inervado pelo nervo glúteo inferior. É um poderoso extensor da coxa, está relaxado quando o indivíduo permanece ereto e é menos usado na marcha normal. O glúteo máximo atua quando há necessidade de força como no levantar-se a partir da posição sentada(6-10) e é grandemente influenciado pela profundidade do agachamento, principalmente durante os agachamentos profundos(5).

O grupo muscular formado pelo semitendíneo, semimembráceo e bíceps femoral pode ser chamado como isquiotibiais. Eles atravessam as articulações do quadril e do joelho e constituem-se dos extensores do quadril e flexores do joelho. A habilidade dos músculos isquiotibiais para atuar em uma das articulações depende da posição da outra articulação. Assim, se os joelhos estiverem totalmente flexionados, os isquiotibiais estão encurtados de modo que não podem atuar sobre o quadril. Como ação estabilizadora, os isquiotibiais exercem um efeito regulatório na articulação do joelho tracionando posteriormente a tíbia, auxiliando a neutralizar o cisalhamento tibiofemoral produzido pelo quadríceps femoral, reduzindo assim o estresse no ligamento cruzado anterior. A inserção de origem do músculo semitendíneo é no túber isquiático que é comum a cabeça longa do bíceps femoral. Na porção média da coxa, seu ventre dá lugar a um longo tendão arredondado, que é palpável e visível como um dos limites mediais da fossa poplítea. Seu tendão de inserção terminal passa na região posterior da articulação do joelho e se insere na face medial do corpo da tíbia posteriormente à inserção do grácil e do sartório, com os quais reparte a bolsa anserina (pata de ganso). Geralmente há dois nervos para o semitendíneo, o nervo isquiático superficial e o profundo, um penetrando por sua face profunda perto de sua inserção de origem e outra penetrando também por essa face, porém abaixo da inserção tendínea que normalmente a cruza. O músculo semimembráceo tem

sua inserção de origem no túber isquiático por um tendão particularmente longo e plano, daí seu nome. Esse largo tendão dá origem a fibras musculares na parte proximal da coxa; o tendão da inserção terminal se insere no lado pósteromedial do côndilo medial da tíbia. As duas porções do músculo bíceps femoral se denominam longa e curta. A porção longa se origina do túber isquiático juntamente com o semitendíneo e a porção curta na linha áspera e no septo intermuscular lateral. As duas cabeças, também são inervadas pelo nervo isquiático, cada cabeça com uma ramificação, e se unem no terço inferior da coxa, e seu tendão de inserção terminal cruza a face pósterolateral da articulação do joelho para se inserir predominantemente na cabeça da fíbula, com pequena ligação com o côndilo lateral da tíbia(6-10). Os isquiotibiais apresentam baixa ativação muscular durante o agachamento, produzindo até metade de sua ativação quando comparado ao stiff ou mesa flexora (5, 12, 13).

Complexo do joelho: é composto pela articulação tibiofemoral, responsável pela flexão/extensão (plano sagital) e pequena rotação lateral e medial (plano transversal) durante a flexão de joelho e pela articulação femoropatelar. A articulação femoropatelar fornece vantagem mecânica na extensão do joelho. Os ligamentos do joelho possuem função principal como estabilizadores estáticos, enquanto que os músculos assumem a função de estabilizadores dinâmicos(5). Os principais músculos relacionados ao joelho são os isquiotibiais (citados anteriormente) e o quadríceps femoral. As quatro partes do músculo quadríceps femoral são reto femoral, vasto medial, vasto intermédio e vasto lateral. Os músculos estão unidos em suas inserções terminais e os três vastos são dificilmente separáveis em suas inserções de origem já que os vastos medial e lateral se originam, em parte, dos septos intermusculares que eles compartilham com o vasto intermédio. Apesar disso, as quatro porções de inserção de origem do músculo recebem seus nomes como se fossem músculos separados. O reto femoral é biarticular e tem inserção de origem na espinha íliaca ântero-inferior. O tendão de inserção terminal recebe em sua face profunda e nos lados grande parte das inserções dos vastos; o tendão conjugado que assim se forma é o tendão do quadríceps. Liga-se à borda superior da patela, e esta se liga à tuberosidade da tíbia por um tendão forte conhecido como ligamento da patela (que é a extremidade inferior do tendão do quadríceps). O vasto lateral é grande e

recobre inteiramente a face lateral da coxa e se estende por suas faces anterior e posterior. Está separado da maior parte da face lateral do fêmur pelo vasto intermédio subjacente. Sua inserção de origem é no trocanter maior e na linha áspera. Insere-se na parte inferior do tendão do reto femoral, e nas bordas superior e lateral da patela, emitindo expansão tendínea que se mistura com outro tecido conjuntivo para ajudar a formar o retináculo lateral da patela. As fibras do vasto medial se originam na linha intertrocantérica. A inserção terminal é na borda medial do tendão do quadríceps e no lado medial da patela, com uma área maior de fixação quando comparado ao vasto lateral. No joelho o vasto medial emite expansões que ajudam a formar o retináculo medial da patela. O vasto intermédio se origina das faces anterior e lateral do corpo do fêmur. Está inteiramente coberto pelo reto femoral e pelos outros dois vastos, e funde-se a estes últimos em sua parte inferior. Sua inserção terminal é na parte profunda da borda superior da patela e nos tendões dos outros vastos. Cada músculo do grupo quadríceps femoral recebe seu próprio suprimento nervoso do nervo femoral(6-10). O quadríceps femoral apresenta um pico de ativação muscular em torno de 80-90° de flexão, mantendo-se constante em maiores ângulos, e a atividade dos vastos apresentam até 50% mais ativação que o reto femoral(5).

Um aspecto adicional de fundamental importância são as cargas mecânicas impostas ao joelho durante o agachamento. As forças máximas de cisalhamento anterior durante o agachamento ocorrem dentro dos primeiros 60° de flexão do joelho, e o pico de força no ligamento cruzado anterior ocorre geralmente entre 15-30° de flexão, diminuindo e se mantendo após os 60°. Para o ligamento cruzado posterior as forças aumentam de 30° até seu pico em 90°, e então diminuem significativamente de 90 a 120°. Em ângulos maiores que 120° pode ocorrer a compressão de tecidos moles como meniscos (ex: lesões meniscais) e cápsula posterior, além de se considerar a susceptibilidade de degeneração femoropatelar devido ao grande estresse imposto pelo exercício durante a flexão (ex: condromalácia patelar, osteoartrite e osteocondrite) (5, 14).

Complexo do tornozelo: é caracterizado pela combinação das articulações talocrural e subtalar, realizando flexão plantar/dorsiflexão (plano sagital), inversão/eversão (plano frontal) e adução/abdução (plano transversal). No caso do agachamento a articulação primária é a talocrural onde os músculos envolvidos

são o gastrocnêmio (lateral e medial) e o sóleo. O gastrocnêmio juntamente com o sóleo formam o tríceps sural. O termo gastrocnêmio significa “ventre da perna” (*gaster + knéme*) e sóleo (*solea*) deriva do formato de um peixe achatado (*Pleuronectes solea*) ou de forma incorreta, devido ao seu formato de sola da antiga sandália romana. A inserção de origem do gastrocnêmio se dá pelas porções medial e lateral, a porção medial logo acima do côndilo femoral medial e a porção lateral do côndilo femoral lateral. A junção das duas cabeças forma a massa muscular que dá origem a um tendão que recebe a inserção terminal do músculo sóleo e sua face profunda se insere na extremidade posterior do calcâneo. Esse tendão combinado do gastrocnêmio e do sóleo é o tendão calcâneo, também chamado de tendão de Aquiles. O sóleo, outra parte do tríceps sural, se origina da parte superior da fíbula. É amplamente coberto pelo gastrocnêmio, porém abaixo da metade da perna é mais largo que o tendão desse músculo, sendo então visível em qualquer lado dele. As fibras musculares do sóleo se inserem na parte anterior do tendão calcâneo, mas à medida que o tendão corre na direção do calcanhar ele se torce lateralmente de modo que a parte associada com o gastrocnêmio se insere muito lateralmente, enquanto que a parte pertencente ao sóleo se insere predominantemente no lado medial. Cada porção do gastrocnêmio recebe um ramo do nervo tibial. O sóleo recebe um ramo do nervo tibial na sua face superficial e geralmente um segundo ramo do tibial(6-10). Considerando as características funcionais do tríceps sural, existem evidências que mostram maior ativação do sóleo em relação ao gastrocnêmio em maiores graus de flexão de joelho(5).

3.2. Efeito do posicionamento dos membros inferiores

Alterações na postura geram importantes efeitos na cinética e atividade muscular durante o agachamento. Tais alterações podem ser relacionadas à abertura ou rotação entre os membros inferiores.

Quanto a largura entre membros, o estudo de Paoli et al.(15) analisaram a atividade mioelétrica de 8 músculos dos membros inferiores (vasto medial, vasto lateral, reto femoral, semitendinoso, bíceps femoral, glúteo máximo e médio e adutor magno). Seis indivíduos treinados realizaram 3 séries de 10 repetições com diferentes intensidades (sem sobrecarga, 30%1RM, 70% 1RM) e diferentes

larguras entre os membros inferiores. As diferentes larguras foram definidas em função da distância entre o trocânter maior do membro direito e esquerdo, durante a execução de um agachamento de referência para cada sujeito (caracterizada como 100% da distância entre trocânteres), então os sujeitos foram analisados em 3 diferentes distâncias: 100, 150 e 200% da distância entre trocânteres. Houve diferença na ativação muscular apenas para o glúteo máximo, nas condições sem peso e 70% 1RM entre 100% e 150% e entre 100% e 200%, sendo que quanto maior a largura entre membros, maior sua participação no exercício agachamento. O estudo Escamilla et al.(16) e Ninos et al.(17) reportam uma maior ativação dos adutores e abdutores de quadril durante os agachamentos com afastamento dos membros inferiores, entretanto a ação dos músculos quadríceps femoral e isquiotibiais permanecem inalteradas(16).

O estudo de Escamilla et al.(18) quantificou parâmetros biomecânicos do agachamento analisando a execução do exercício com variação na largura do posicionamento dos pés através da cinemática. Participaram do estudo 39 sujeitos competidores de levantamento de peso que realizaram 3 posições diferentes durante o agachamento, sendo elas: agachamento parcial, meio-agachamento e agachamento afastado que foram normalizados pela largura dos ombros. Os resultados mostram que houve aumento significativo nas forças compressivas patelofemorais (15%) e tibiofemorais (16%) em sujeitos que realizaram o exercício com a posição afastada em relação à curta. Entretanto, a posição mais curta resultou em um aumento de ~4-6cm de translação anterior do joelho (maior carga de cisalhamento) quando comparado as outras posições.

Quanto as rotações do segmento inferior, o estudo de Pereira et al.(19) utilizou a eletromiografia de superfície (sEMG) para comparar a ativação mioelétrica de adutores do quadril e reto femoral em posição neutra ou em rotação lateral de 30 ou 50° (0, 30 e 50° respectivamente) durante o agachamento paralelo com a barra posicionada atrás. Dez sujeitos saudáveis realizaram uma série de 10 repetições máximas em cada uma das posições do agachamento, com flexão de joelhos a 90° controlado por um goniômetro, e velocidade controlada por um metrônomo. Os resultados mostraram que a atividade do reto femoral não apresentou diferença significativa entre as diferentes posições do quadril, mas para os adutores houve diferença significativa nas posições de 30 e 50° de rotação do quadril quando comparado a 0°. Outros estudos corroboram as

informações acima mostrando que a ação muscular do quadríceps femoral, isquiotibiais e gastrocnêmios não se alteram com as diferentes rotações do membro inferior(20, 21).

3.3. Efeito da amplitude de movimento

Os exercícios geralmente são executados com toda amplitude de movimento permitida pela articulação. A força muscular pode variar dependendo da amplitude do movimento em uma articulação específica. Possíveis mecanismos para esta variação podem ser em decorrência da relação comprimento-tensão muscular, no comprimento do braço de alavanca ou diferenças na ativação muscular. Acredita-se que para o desenvolvimento da força em toda amplitude articular, o treinamento deva ser específico, utilizando desta forma, a maior amplitude de movimento possível(22, 23). Além do que, dependendo do exercício, quando se utiliza toda amplitude de movimento, a flexibilidade é mantida ou melhorada(24). Amplitudes de movimento parciais são técnicas utilizadas por indivíduos altamente treinados em muitos esportes, visando o aumento da força em amplitudes específicas do movimento e, visando a utilização de sobrecargas supra-máximas(23, 25).

O exercício agachamento pode variar em função da amplitude (ou profundidade) em relação à flexão da articulação do joelho, sendo: agachamento parcial (até 40°), meio-agachamento (70-100°) e agachamentos profundos (acima de 100°) (5). O estudo de Caterisano *et al.*(26) comparou a ação mioelétrica dos músculos bíceps femoral, vasto medial e glúteo máximo, durante o agachamento em três amplitudes diferentes (parcial, meio-agachamento e profundo). Dez indivíduos treinados em agachamento realizaram 3 repetições com 100-125% do peso corporal. Os resultados mostraram que apenas o glúteo máximo apresentou maior ativação durante a fase concêntrica do agachamento, sendo que quanto maior a amplitude de deslocamento maior sua participação (parcial: 28%, meio-agachamento: 16,9% e profundo: 35,4%).

3.4. Efeitos do posicionamento da barra

O agachamento apresenta variações técnicas, utilizadas por diferentes esportes e atividades, quanto ao posicionamento da barra em relação ao

tronco(27, 28). Esta variação técnica pode alterar o centro de gravidade do conjunto sujeito-barras em relação ao posicionamento corporal. O estudo de Stuart et al.(29) comparou o agachamento pela frente com o agachamento por trás e não foram verificadas diferenças no estresse dos ligamentos cruzados anterior e posterior. Adicionalmente, o estudo de Gullett et al.(30) comparou e quantificou a cinética da articulação tibiofemoral assim como a atividade muscular do reto femoral, vasto lateral, vasto medial, bíceps femoral, semitendíneo e eretores da coluna durante a execução do agachamento com a barra posicionada por trás e a frente do tronco. Quinze indivíduos treinados com pelo menos um ano de experiência realizaram o agachamento frente e atrás utilizando 70% de 1RM. O estudo concluiu que o agachamento atrás resultou em mais altas forças compressivas e torques internos extensores quando comparado ao agachamento frente. As forças de cisalhamento e a atividade muscular foram similares em ambas às técnicas. Os resultados sugerem que o agachamento pela frente parece ser mais vantajoso para indivíduos com problemas de joelho, como rompimento de menisco, e para saúde articular de longo prazo.

3.5. Efeito do exercício guiado e não guiado

Geralmente, os pesos livres (não guiados) são preferidos em relação às máquinas (guiados) por fisiculturistas ou atletas de força por proverem uma condição mais instável, e requisitando maior recrutamento muscular. Entretanto, as máquinas são mais fáceis de usar(31). A máquina Smith (*Smith machine*) permite a realização do agachamento de forma similar ao livre, entretanto a barra se desloca linearmente entre os trilhos(31).

Quanto à ativação muscular, dois estudos avaliaram as diferenças entre exercícios guiados e não guiados. O estudo de Anderson e Behm(32) comparou a ação muscular durante o agachamento com barra e na *Smith machine*. Os resultados mostraram maior ativação do tronco durante o peso livre e maior participação do vasto lateral no *Smith machine*. Adicionalmente, o estudo de Schwanbeck et al.(33) comparou a ação mioelétrica dos músculos tibial anterior, gastrocnêmio, vasto medial, vasto lateral, bíceps femoral, eretores da coluna e reto abdominal durante o agachamento com peso livre e na máquina. Seis indivíduos saudáveis com experiência no agachamento realizaram uma série com oito repetições máximas para cada tipo de agachamento. Os resultados

mostraram que a atividade eletromiográfica foi maior nos músculos gastrocnêmios, bíceps femoral e vasto medial durante o agachamento com peso livre quando comparado à máquina.

Quanto a cinética entre equipamentos, o estudo de Andrews et al.(34) calcularam as cargas de cisalhamento utilizando sujeitos experientes no agachamento com peso livre (barra) e máquina a 40%, 60% e 80% de 4RM. Os resultados mostraram que ambas as situações apresentaram pico de cisalhamento no menor ponto da amplitude do movimento. As cargas de cisalhamento foram similares entre os métodos analisados, mas se mantiveram por mais tempo no agachamento na máquina, concluindo que as forças de cisalhamento foram de 30-40% maiores na máquina quando comparado a barra.

4. CONCLUSÃO

Considerando os trabalhos revisados, podemos concluir que as diferentes variações e condições impostas ao exercício agachamento podem acarretar em mudanças na ação dos músculos envolvidos, na cinemática e/ou cinética do exercício, aumentando ou diminuindo sua performance e/ou eficiência.

REFERÊNCIAS

1. Graham JF. Back Squat. National Strength & Conditioning Association. 2001;23(5):28-9.
2. Groves B. Powerlifting: Levantamentos básicos. Técnica e treinamento para o desempenho muscular atlético. São Paulo: Editora Phorte; 2002.
3. Coutinho M. De volta ao básico: powerlifting - treinamento funcional, esporte de alto rendimento e prática corporal para todos. São Paulo: Editora Phorte; 2011.
4. Dionisio VC, Almeida GL, Duarte M, Hirata RP. Kinematic, kinetic and EMG patterns during downward squatting. Journal of Electromyography and Kinesiology. 2008;18:134-43.
5. Schoenfeld BJ. Squatting kinematics and kinetics and their application to exercise performance. J Strength Cond Res. 2010;24(12):3497-506.
6. Marchetti PH, Calheiros Neto RB, Charro MA. Biomecânica Aplicada: Uma abordagem para o treinamento de força. São Paulo: Phorte; 2007.

7. D'Angelo JG, Frattini CA. Anatomia humana: sistêmica e segmentar. 3 ed. Rio de Janeiro: Atheneu; 2007.
8. Moore KL, Dalley AF. Anatomia orientada para clínica. 5 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2007.
9. Tortora GT. Princípios de anatomia humana. 10 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2007.
10. Thompson CW, Floyd RT. Manual de cinesiologia estrutural. 14 ed. São Paulo: Manole; 2002.
11. Chiu LZF, Burkhardt E. A teaching progression for squatting exercises. *Strength and Conditioning Journal*. 2011;33(2):46-54.
12. Wright GA, Delong TH, Gehlsen G. Electromyographic activity of the hamstrings during performance of the leg curl, stiff-leg deadlift, and back squat movements. *J Strength Cond Res*. 1999;13(2):168-74.
13. Ebben WP, Leigh DH. The role of back squat as a hamstring training stimulus. *Strength & Conditioning Journal*. 2000;22(5):15-7.
14. Escamilla RF. Knee biomechanics of the dynamic squat exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2001;33(1):127-41.
15. Paoli A, Marcolin G, Petrone N. The effect of stance width on the electromyographical activity of eight superficial thigh muscles during back squat with different bar loads. *J Strength Cond Res*. 2009;23(1):246-50.
16. Escamilla RF, Fleisig GS, Zheng N, Lander N, Barrentine SW, Andrews JR, et al. Effects of technique variations on knee biomechanics during the squat and leg press. *Med Sci Sports Exerc*. 2001;33(9):1552-66.
17. Ninos JC, Irrgang JJ, Burdett R, Weiss JR. Electromyographic analysis of the squat performed in self-selected lower extremity neutral rotation and 30° of lower extremity turn-out from the selfselected neutral position. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1997;25:307-15.
18. Escamilla RF, Fleisig GS, Lowry TM, Barretine SW, Andrews JR. A three-dimensional biomechanical analysis of the squat during varying stance widths. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2001;33(6):984-98.
19. Pereira GR, Leporace G, Chagas DV, Furtado LFL, Praxedes J, Batista LA. Influence of hip external rotation on hip adductor and rectus femoris myoelectric activity during a dynamic parallel squat. *J Strength Cond Res*. 2010;24(10):2749-54.

20. Hsieh HH, Walker PS. Stabilizing mechanisms of the loaded and unloaded knee joint. *J Bone Joint Surg.* 1976;58:87-93.
21. Schaub P, Worrell T. EMG activity of six muscles and VMO:VL ratio determination maximal squat exercise. *J Sport Rehabil.* 1995;4:195-202.
22. Fleck SJ, Kraemer WJ. Fundamentos do treinamento de força muscular. 2 ed. São Paulo: Manole; 1999.
23. Mookerjee S, Ratamess N. Comparison of strength differences and joint action durations between full and partial range-of-motion bench press exercise. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association.* 1999;13(1):76-81.
24. Bachele TR, Earle RW. Fundamentos do treinamento de força e do condicionamento. 3 ed. São Paulo: Manole; 2010.
25. Zatsiorsky VM. Ciência e prática do treinamento de força. São Paulo: Phorte; 1999.
26. Caterisano A, Moss RF, Pellingier TK, Woodruff K, Lewis VC, Booth W, et al. The effect of back squat depth on the EMG activity of 4 superficial hip and thigh muscles. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association.* 2002;16(3):428-32.
27. Waller M, Townsend R. The front squat and its variations. *Strength & Conditioning Journal.* 2007;29(6):14-9.
28. Graham JF. Back Squat. *National Strength and Conditioning Association.* 2001;23(5):28-9.
29. Stuart MJ, Meglan DA, Lutz GE, Growney ES, An KN. Comparison of intersegmental tibiofemoral joint forces and muscle activity during various closed kinetic chain exercises. *Am J Sports Med.* 1996;24:792-9.
30. Gullett JC, Tillman MD, Gutierrez GM, Chow JW. A biomechanical comparison of back and front squats in healthy trained individuals. *J Strength Cond Res.* 2008;23(1):284-92.
31. Haff G. Roundtable discussion: Machines versus free weights. *Strength Cond J.* 2000;22:18-30.
32. Anderson K, Behm DG. Trunk muscle activity increases with unstable squat movements. *Can J Appl Physiol.* 2005;30:33-45.

33. Schwanbeck S, Chilibeck PD, Binsted G. A comparison of free weight squat to smith machine squat using eletromyography. *J Strength Cond Res.* 2009;23(9):2588-91.
34. Anderson JG, Hay JG, Vaughan CL. Knee shear forces during a squat exercise using a barbell and a weight machine. In: Matsui H, Kobayashi K, editors. *Biomechanics*. Champaign, IL.: Human Kinetics Publisher; 1983. p. 923-7.