

Ícaro Reis

**ANÁLISE CINÉTICA E CINEMÁTICA DO JOELHO NO AGACHAMENTO
PROFUNDO:**

Revisão narrativa

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional/UFMG

2019

Ícaro Reis

**ANÁLISE CINÉTICA E CINEMÁTICA DO JOELHO NO AGACHAMENTO
PROFUNDO:**

Revisão Narrativa

Trabalho de Conclusão de Curso de Pós-Graduação em Fisioterapia Esportiva da Escola de Educação Física da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Fisioterapia Esportiva.

Área de concentração: Fisioterapia do Esporte

Orientador: Prof. Ms. Tarcísio Santos Moreira

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional/UFMG

2019

REIS, Ícaro. **ANÁLISE CINÉTICA E CINEMÁTICA DO JOELHO NO AGACHAMENTO PROFUNDO**: Revisão Narrativa

RESUMO

O movimento de agachamento possui diversos propósitos tais como a utilização no dia a dia, em programas de treinamentos e em estratégias de reabilitação. A execução do movimento envolvem diversas articulações, entre elas, o joelho. Assim como o movimento pode ser realizado em diversas amplitudes, com início na posição de pé, com tronco, joelho e quadris estendidos, e logo após ocorre a flexão de quadril e joelho até que a amplitude desejada seja atingida. A realização de uma análise cinética e cinemática do movimento é de extrema importância para compreensão biomecânica, observação das variações do movimento, entendimento das forças internas e externas que agem sobre o sistema. Também é possível demonstrar a dinâmica de movimento em indivíduos saudáveis e as alterações que acontecem em virtude de lesão ou disfunção de movimento. Durante a flexão do joelho uma variedade de forças ocorrem, diversas musculaturas se apresentam envolvidas, assim como compressões e cisalhamentos também acontecem, devido a características musculares, ósseas e ligamentares. As forças que atuam na articulação do joelho, as compressões e os cisalhamentos são influenciadas pela posição do corpo, pelo ângulo de flexão do joelho durante o movimento. Diante disso o objetivo desse trabalho foi realizar uma revisão da literatura sobre a análise cinemática e cinética da articulação do joelho durante o movimento de agachamento profundo e suas repercussões através de uma revisão narrativa.

Palavras chave: Cinemática do joelho. Cinética do joelho. Biomecânica do joelho. Flexão profunda do joelho. Agachamento profundo.

R375a Reis, Ícaro

2019 Análise cinética e cinemática do joelho no agachamento profundo: revisão narrativa. [manuscrito] / Ícaro Reis – 2019.

18 f., enc.: il.

Orientador: Tarcísio Santos Moreira

Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.

Bibliografia: f. 04-18

1. Joelhos. 2. Articulações – amplitude e movimento. 3. Biomecânica. I. Moreira, Tarcísio Santos. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. III. Título.

CDU: 615.8:796

Ficha catalográfica elaborada pelo bibliotecário Danilo Francisco de Souza Lage, CRB 6: nº 3132, da

Biblioteca da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG.

1 Introdução

O agachamento é um movimento muito utilizado em exercícios físicos devido a sua funcionalidade e semelhança com movimentos realizados no cotidiano dos indivíduos, tais como assentar, levantar-se e atividades esportivas (Durward, B. R 2001). Esse movimento pode ser executado de diversas maneiras, através do uso de vários implementos, por exemplo, o próprio peso corporal, quinas e dispositivos e também com pesos soltos. Esses métodos são bastante comuns, sendo empregados em diversos programas de treinamento de força e condicionamento em contextos esportivos, assim como em programas de reabilitação. A prática do agachamento pode auxiliar no fortalecimento e aumento da resistência, principalmente na musculatura dos membros inferiores, sendo muito importante em esportes como corrida, saltos e levantamento de peso (Escamilla, R. F 2001).

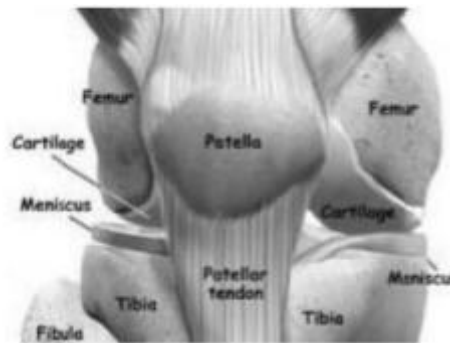
O movimento de agachamento tem início com o indivíduo na posição de pé, com tronco, joelho e quadris estendidos, em seguida o movimento é executado com flexão dos quadris e joelhos, até atingir a profundidade desejada, logo após ocorre a volta para a posição vertical em movimento contínuo (PALMITIER, R. A 1991). A amplitude total da flexão de joelho durante o agachamento ocorre de 0 a aproximadamente 150 graus (Escamilla, R. F 2001).

Realizar uma análise cinética e cinemática dos movimentos é muito importante para compreensão da biomecânica humana. Através dessas análises é possível demonstrar a dinâmica de movimento em indivíduos saudáveis e as alterações que acontecem em virtude de lesão ou disfunção do movimento (REABILITECH, 2018). A cinética é a área do estudo responsável pela análise das forças que agem sobre o sistema, e assim realiza o esclarecimento de suas causas e efeitos. Durante uma análise cinética são observadas as forças internas e externas de um determinado movimento, sendo estas transformadas em rotações dos segmentos que vão produzir o movimento estudado (HAMMIL, BATES e HOLT, 1992). A análise cinemática,

por sua vez, pode ser feita com base em vídeos e técnicas cinematográficas, com utilização de marcadores colocados sobre o corpo do indivíduo, para o posterior uso de gravações do movimento em 3 dimensões, para uma análise do pesquisador (Sousa et al, 2007). Uma boa forma de descrever o movimento do agachamento é utilizando o conceito de cadeias cinemáticas, o qual é definido em dois tipos: cadeia cinemática aberta e cadeia cinemática fechada. Quando o segmento mais distante se move no espaço caracterizamos como cadeia cinemática aberta. E na realização do movimento quando o segmento distal está fixo e as porções proximais se movem em relação à ele caracterizamos como cadeia cinemática fechada. O movimento de agachamento ocorre em cadeia fechada, pois o segmento distal se encontra fixo, o pé, e o tornozelo ao se movimentar, faz com que o joelho e o quadril também se movimentem, de forma que o tornozelo é incapaz de se mover independente dessas outras estruturas (HOUGLUM, PA; BERTOTI, DB, 2014).

Algumas articulações estão envolvidas de forma direta com a realização do movimento de agachamento, são elas: a coluna vertebral, quadris, joelhos e tornozelos (UCHIDA M. C 2010). A articulação do joelho é classificada do tipo gínglimo, ou seja, em forma de dobradiça, onde encontramos quatro ossos, fêmur, patela, tíbia e fíbula, assim como cápsulas, ligamentos, meniscos e estruturas musculotendinosas com o papel de alinhamento e estabilidade. (HIRATA, 2006) O joelho ainda pode ser subdividido em três articulações, a fêmoropatelar, formada pelo fêmur e patela, tibiofemoral, formada pelo fêmur e tíbia, e tibiofibular formada pela tíbia e fíbula (SOBOTTA 2008), (FIGURA 1).

FIGURA 1 – Ilustração da articulação do joelho



Fonte: HIRATA, 2006.

Diversos pesquisadores vêm analisando cinética e cinematicamente o movimento do joelho em agachamento profundo. Durante a flexão de joelho acontece uma série de forças exercidas em estruturas internas, com musculaturas envolvidas, instabilidade gerada pelo próprio movimento, compressões e cisalhamentos, por características musculares, ósseas e ligamentares. Algumas amplitudes de movimento favorecem mais ou menos às compressões e cisalhamentos. Durante o agachamento é possível determinar as principais áreas de contato ou pressão na articulação do joelho, a utilização de cadáveres é muito comum na tentativa de observação, em que a flexão profunda é simulada, e através disso os locais de aumento da pressão e as áreas de contato são medidas (Yildirim, et al, 2007; Hamai, S, et al, 2013; Kobayashi, K, et al, 2013). A medida que o ângulo de flexão do joelho aumenta, diversas estruturas se organizam para realização do movimento, e dessa forma acontecem alterações musculares, tendíneas e ligamentares, como por exemplo, durante a flexão do joelho existem alguns ângulos que podem influenciar sobre a força de reação articular na articulação patelofemoral, assim como também sobre em estruturas tendíneas e musculares devido à forças tensionais sobre a mesma articulação (Escamilla, R. F 2001).

As variações de amplitude que acontecem durante o agachamento fazem com que os músculos envolvidos no movimento se tornem mais ou menos ativos e induzem músculos a serem mais recrutados que outros. A amplitude de movimento beneficia em aspectos biomecânicos à ativações de musculaturas em detrimento de outras. Durante o movimento em uma

amplitude de setenta graus de flexão do joelho por exemplo, ocorre um equilíbrio de força entre os músculos sóleo e gastrocnêmios, relacionados às estruturas de joelho e tornozelo, de aproximadamente seiscentos *Newtons*, entretanto em uma amplitude de sessenta e cinco graus de flexão a força do sóleo chega a quase zero *Newton*, aumentando a demanda sobre os gastrocnêmios, podendo gerar uma sobrecarga na articulação do joelho (DAHLKVIST, 1982).

As forças que atuam na articulação são altamente influenciadas pela posição do corpo durante o movimento, ou seja, pelo ângulo de flexão do joelho. A força do tendão do quadríceps, do tendão patelar e a força compressiva patelofemoral, são exemplos de forças influenciadas pelo ângulo de flexão do joelho. A direção compressiva é resultado das forças, e elas serão maiores em amplitudes maiores de flexão (ESCAMILLA; HAMAI, 2001, 2013).

O conhecimento sobre o movimento, como por exemplo deslocamento, velocidade e aceleração (cinemática) e as forças internas e externas associadas ao movimento, como por exemplo músculos, tendões e ossos, gravidade e contato (cinética) é muito importante. Através de todas essas informações será possível orientar e saber prescrever de maneira segura, funcional e preventiva o exercício de agachamento profundo baseado na capacidade do indivíduo que irá realizar o movimento. Diante disso o objetivo desse trabalho foi realizar uma revisão da literatura sobre a análise cinemática e cinética da articulação do joelho durante o movimento de agachamento profundo e suas repercussões.

2 METODOLOGIA

O presente estudo trata-se de uma revisão narrativa da literatura que analisou artigos sobre a cinemática e cinética da articulação do joelho durante o movimento de agachamento profundo. A busca foi realizada no período de dezembro de 2018 à março de 2019.

A pesquisa foi realizada na plataforma de busca, PubMed, com a combinação dos seguintes descritores: cinemática do joelho, cinética do joelho, biomecânica do joelho, flexão profunda do joelho e agachamento profundo, bem como seus correlatos em inglês, com os operadores booleanos AND e OR. Não foram delimitados o idioma e o ano dos artigos. A estratégia completa de pesquisa na PubMed pode ser encontrada no Quadro 1.

Quadro 1: Estratégia completa de pesquisa na PubMed.

Descritores em inglês (EUA)	Descritores em Português (BRA)
“Knee kinematics” OR “Knee kinect” OR “Knee biomechanics” AND “Deep knee flexion” OR “Deep squatting”	“Cinemática do joelho” OR “Cinética do joelho” OR “Biomecânica do joelho” AND “Flexão profunda do joelho” OR “Agachamento profundo”

Como critérios de elegibilidade foram selecionados estudos que abordassem sobre a biomecânica do joelho durante o movimento de agachamento, estudos que realizavam uma análise cinética e/ou cinemática do movimento de flexão do joelho, com amplitudes de movimento variadas, porém, principalmente com ângulos iguais e/ou maiores que noventa graus de flexão. Foram excluídos artigos que abordassem joelhos pós lesão ou pós cirúrgicos.

3 RESULTADOS

Foram encontrados um total de 332. Destes, 309 foram excluídos, após leitura de título e resumo, restando 23 estudos. Em seguida foi realizada a leitura completa dos estudos, e desses 8 não abordavam o agachamento profundo, 2 analisavam cinética e cinemática em joelhos artríticos, 1 abordava a biomecânica em crianças e adultos, 4 abordava cinética em um joelho com prótese. Restando dessa maneira 8 artigos. O processo de seleção dos estudos pode ser observado na Figura 1.

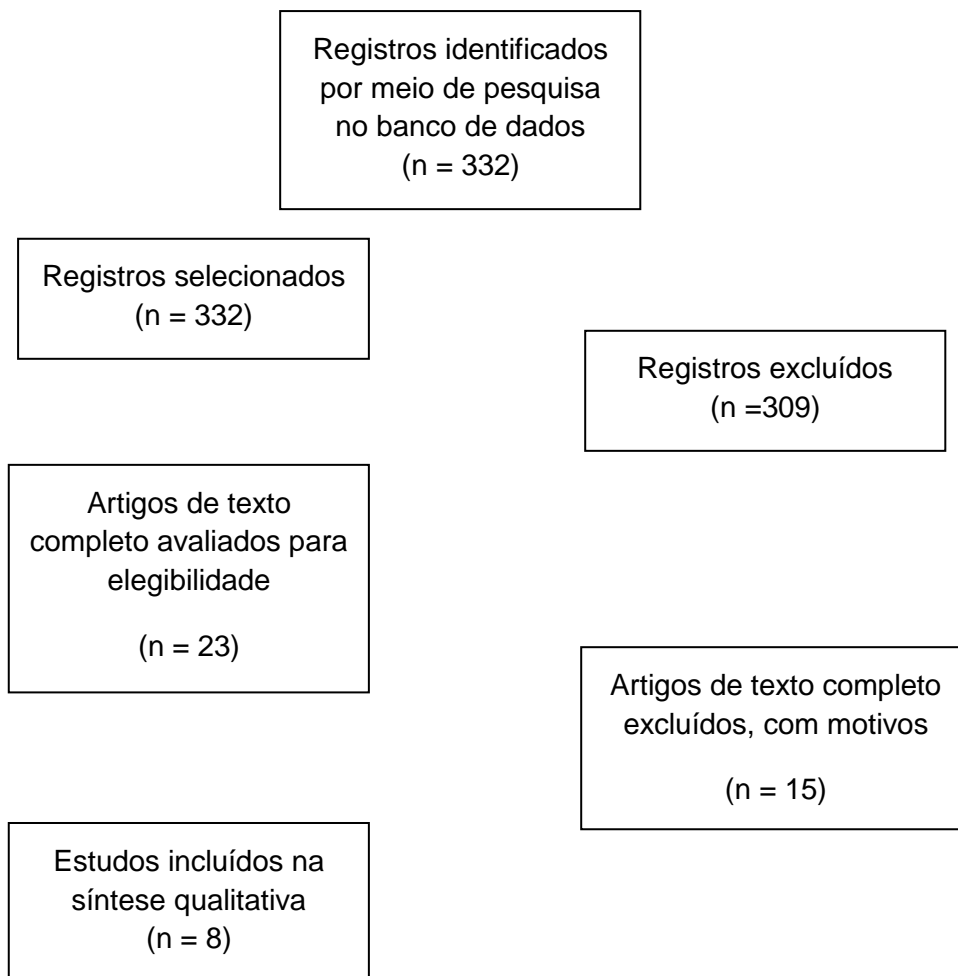


Figura 1: Fluxograma do processo de seleção dos estudos conforme check-list PRISMA.

Descrição dos estudos

Os oito estudos elegíveis foram publicados entre os anos de 1982 à 2018, em que algum deles descrevem a cinética e/ou cinemática do movimento de flexão profunda do joelho durante o agachamento, como também o que acontece com estruturas que compõe a articulação do joelho. A descrição dos estudos que foram incluídos na pesquisa apresenta-se na tabela 2.

Tabela 2. Descrição dos estudos incluídos

Estudo	Design	Objetivo	Resultados	Conclusão
Galvin, C. et al., 2018 (Austrália)	Revisão sistemática	Descrição da cinemática de flexão profunda do joelho saudável.	<ul style="list-style-type: none"> - Rotação interna da tíbia entre 120° e 135° de flexão do joelho; - Movimento posterior do côndilo femoral medial e lateral após 120° de flexão; - Translação medial do fêmur em 120° de flexão. 	As tecnologias utilizadas para realizar a mensuração e os métodos de análise de movimento foram consistentes para os padrões cinemáticos.
Pearson, S. et al., 2017 (Reino Unido)	Estudo Transversal	Quantificar e comparar padrões do tendão patelar durante variações no ângulo de flexão do joelho.	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento da tensão do tendão patelar com o aumento da flexão de joelho a partir de pequenos graus de flexão do joelho; - Maior tensão em 90° comparado com 30°; - Tensão maior na porção anterior do tendão em comparação com a posterior no ângulo de 90° de flexão de joelho. 	Quanto maior o ângulo de flexão do joelho, maior tensão e cisalhamento das camadas do tendão patelar.
Hamai, S. et al., 2013 (USA)	Pesquisa exploratória	Obter a cinemática patelar do plano sagital, com a medida da distância de flexão do joelho sob condições de suporte de peso.	<ul style="list-style-type: none"> - A flexão do joelho previu 99% de movimentação patelar em relação ao fêmur e 97% de movimento patelar em relação à tíbia em todo processo de flexão de joelho de 0° a 160°; - Em 160° de flexão do joelho a movimentação patelar em relação ao fêmur foi de 100° e à tíbia foi de 65°. 	A cinemática patelar, incluindo ângulos de translações em relação ao fêmur e tíbia, mostrou padrões geralmente semelhantes para cada sujeito.

<p>Kobayashi, K. et al., 2013 (USA)</p>	<p>Pesquisa exploratória</p>	<p>Determinar a cinemática do mecanismo extensor.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Quanto maior a flexão, maior o ponto de contato femoropatelar; - O ângulo do plano sagital entre o quadríceps e a força de reação da articulação patelofemoral teve uma diminuição de 15° até 90° e teve um leve aumento depois de 90° de flexão de joelho; - Entre o tendão patelar e a força de reação da articulação patelofemoral teve um aumento entre 15° e 30° depois uma diminuição entre 30° e 120° e teve um leve aumento em 150°. 	<p>Até 60° de flexão de joelho ocorre movimento proximal em relação ao ponto de contato femoropatelar. Além dos 90° de flexão, os pontos de contato se movem em direção às bordas medial e lateral da superfície da patela.</p>
<p>Kobayashi, K. et al., 2012 (USA)</p>	<p>Pesquisa exploratória</p>	<p>Investigar a cinemática do tendão patelar de indivíduos saudáveis durante a flexão profunda do joelho até 150°.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Os alongamentos relativos das porções lateral, central e medial do tendão patelar aumentaram em 60° de flexão de joelho; - A porção lateral do tendão aumentou na média em 150°; - A porção central do tendão diminuiu em 90° e voltou a aumentar em 150° de flexão; - A porção medial diminuiu até 150° de flexão, sendo significativamente menor que a porção lateral. 	<p>Aumento do alongamento relativo de todas as três porções do tendão patelar até uma certa medida, seguida de diminuição em outras amplitudes.</p> <p>O tendão patelar colidiu com a superfície óssea da tíbia nos ângulos de flexão de 120° e 150° de flexão de joelho.</p>

<p>Yildirim, G. et al., 2007 (USA)</p>	<p>Pesquisa exploratória descritiva</p>	<p>Determinar os locais de contato no joelho em uma simulação de posição de agachamento profundo, tanto para a rotação neutra quanto a rotação tibial.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Aos 135° de flexão do joelho, o contato da patela no fêmur incluía uma banda transversal logo acima da incisura intercondilar; - Em 155° de flexão os contatos estavam na região superior e posterior extrema das superfícies articulares do fêmur; - Na porção medial em 155° de flexão tinha contato entre a porção femoral posterior e a borda posterior da tibia. 	<p>Em conclusão, os locais de contato no joelho foram determinados para a amplitude 135°-150° de flexão, avançando na compreensão da mecânica do joelho.</p>
<p>Escamilla, R., 2001 (USA)</p>	<p>Revisão da literatura</p>	<p>Examinar a biomecânica do joelho durante o exercício de agachamento dinâmico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - A contração do quadríceps, isquiotibiais e gastrocnêmio produzem componentes compressivos e força de cisalhamento durante a flexão de joelho; - O contato entre a superfície inferior da patela e os côndilos femorais é aumentado a medida que o joelho realiza a flexão; - A ativação do quadríceps permaneceu constante durante a flexão de joelho ente 80° e 90°. 	<p>Altas flexões induzem à uma força compressiva e de cisalhamento grande, levando à condromalácia ou osteoartrite.</p>
<p>Dahlkvist, N. et al., 1982 (Reino Unido)</p>	<p>Estudo descritivo</p>	<p>Observar as forças do joelho durante o agachamento e a subida de um agachamento profundo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento da força do tendão patelar acima de 90° de flexão de joelho; - Na flexão de joelho em ângulos maiores que 90° os ligamentos cruzados, principalmente o anterior, recebe uma carga tangencial de outras estruturas, como por exemplo os meniscos, os ligamentos colaterais e a concavidade dos côndilos da tibia. 	<p>As forças patelofemorais calculadas foram as maiores, entretanto mais pesquisas sobre a mecânica de transmissão de carga tangencial no joelho precisam ser feitas.</p>

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O agachamento é um movimento comum, muito utilizado em diversas atividades da vida diária. Por conta disso ele também tem uso muito frequente em exercícios físicos devido a sua funcionalidade. O movimento ocorre por conta da utilização de diversas articulações e elas trabalham em conjunto para produzir o resultado desejado.

A realização de uma observação cinética e cinemática do movimento, vai proporcionar de forma mais detalhada e apurada a descrição ideal, tendo como base a capacidade do sistema músculo esquelético de cada indivíduo, as queixas e limitações funcionais. Sendo assim o profissional que irá estabelecer e utilizar o movimento do agachamento vai poder atuar de forma segura e preventiva.

Segundo (ESCAMILLA, RF., 2001), existem três forças atuantes na patela durante o agachamento, a força do tendão do quadríceps, a força do tendão patelar e a força compressiva patelofemoral. Durante o movimento essas forças são afetadas pelo ângulo de flexão de joelho, sendo as forças compressivas maiores em ângulos maiores de flexão. A explicação para esse fato é a existência de componentes de força maiores do tendão do quadríceps e do tendão patelar na direção da compressão. Nos trabalhos de (HUBERTI, HH; HAYES, CW, 1984) e (HUNGERFORD, DS; BARRY, M, 1979) eles já observavam esses fatores, inclusive afirmaram que por consequência das forças compressivas aumentarem juntamente com o aumento do ângulo de flexão do joelho, essa área é um local comum de osteocondrite dissecante. O trabalho de (Kobayashi, K. et al., 2012) exemplifica também essa compressão, eles observaram o contato articular entre a patela e o fêmur, sendo que até a flexão antes de alcançar 90° estava localizada disto-lateralmente e após a amplitude chegar em 90° de flexão moveu-se de forma proximal. No estudo de (Preto et al, 2014) eles afirmam que as forças compressivas tem um papel

importante em auxiliar a estabilização do joelho, resistindo às forças de cisalhamento e minimizando a translação da tíbia em relação ao fêmur.

Outras estruturas também sofrem por consequência de outros mecanismos, como por exemplo a sobrecarga, segundo (Dahlkvist, N. et al., 1982), os ligamentos cruzados no momento do agachamento sofrem uma carga tangencial, sendo elas transmitidas pelos meniscos, ligamentos colaterais e a concavidade dos côndilos da tíbia. Durante um estudo com dados cadavéricos (Klein, kk., 1961) concluiu que o ligamento colateral lateral e medial sofrem alongamentos anormais durante o movimento de agachamento em ângulos entre 130° e 150°, além desse fato, durante a rotação externa do fêmur na flexão de joelho, os meniscos são forçados a mover-se posteriormente, e com isso as porções posteriores dos meniscos sejam comprimidas entre os côndilos tibial e femoral, sugerindo dessa forma susceptibilidade à lesões. Ainda nesse estudo foi recomendado a utilização do agachamento paralelo, ou seja até um ângulo de 90° de flexão do joelho, por conta dos efeitos deletérios sofrido pelos ligamentos e meniscos durante o agachamento profundo.

Os estudos de (KOBAYASHI, K, 2012; PEARSON, JP, 2017) falam da estrutura do tendão da patela e suas deformações durante as variações do agachamento. O primeiro estudo apresenta que durante o movimento de flexão de joelho até 60°, todas as três porções do tendão patelar se deformaram, além de 60°, até as angulações entre 120° e 150° de flexão a porção medial do tendão diminuiu seu alongamento, enquanto as porções lateral e central mantiveram seu alongamento crescente. Já o segundo estudo relata a relação de tensão nas estruturas anterior e posterior do tendão patelar, apresentando dados que a tensão na região anterior do tendão foi significativamente maior quando comparada a região posterior, durante os ângulos de 50°, 70° e 90° de flexão do joelho. Esses dados indicam que o tendão patelar exhibe características de tensão variadas, de acordo com a amplitude de agachamento.

A compreensão das forças internas e externas que atuam nas estruturas ligamentares, ósseas e musculares que compõe a articulação do joelho durante o movimento de agachamento é de vital importância para buscar uma atuação

acertiva durante a implementação de protocolos de treinamento, visando o aumento de performance, durante a realização de programas de reabilitação, para o retorno mais seguro à prática esportiva ou as atividades cotidianas, assim como em trabalhos preventivos. Através disso os profissionais capacitados para prescrever treinos, para conduzir programas preventivos, assim como para realizar programas de reabilitação tem um importante papel de conhecer o movimento e todas as repercussões ligadas a amplitude na articulação do joelho, para assim conduzirem de maneira segura todo processo de trabalho.

ABSTRACT

The squat movement has several purposes such as day by day use, training programs and rehabilitation strategies. The movement execution involves many joints, including the knee. Even as the movement can be performed in various amplitudes, with the beginning in the standing position, with trunk, knee and hips extended, and after hip and knee flexion occurs until the desired amplitude is reached. The kinetic and kinematic analysis of motion performing is exceedingly important for biomechanical understanding, observation of movement variations, acting forces internal and external on the system understanding. It is also possible to demonstrate the movement dynamics in healthy individuals and the changes that happen due to movement injury or dysfunction. During knee flexion a several forces occurred, many muscles are involved, as well as compressions and shearings also occur due to muscle, bone and ligament characteristics. The forces acting on the knee joint, the compressions and the shearings are influenced by the body position and the knee flexion angle during the movement. Therefore, the aim of this study was to review the literature on kinematic and kinetic analysis of the knee joint during deep squat movement and its repercussions through a narrative review.

Keywords: Knee kinematics. Knee kinect. Knee biomechanics. Deep knee flexion. Deep squatting.

REFERÊNCIAS

DAHLKVIST, JN; MAYO, P; SEEDHOM, BB. Forces during squatting and rising from a deep squat. **MEP Ltd** 1982 VOI. 11. NO. 2

Durward, B. R.; Baer, G. D.; Rowe, P. J. Movimento funcional humano: mensuração e análise. Barueri. **Manole**. p. 78-86, 2001.

Escamilla, R. F. Knee biomechanics of the dynamic squat exercise. **Med Sci Sports Exerc.** Jan;33(1):127-41, 2001.

GALVIN, RC, et al. Squatting, lunging and kneeling provided similar kinematic profiles in healthy knees – A systematic review and meta-analysis of the literature on deep knee flexion kinematics. **The Knee**. 514-530, 2018.

HAMAI, S, et al. Physiological sagittal plane patellar kinematics during dynamic deep knee flexion. **International Orthopaedics**. 37:1477–1482, 2013.

HAMMIL, J.; BATES B. T.; HOLT, K. G. Timing of lower extremity joint actions during treadmill running. **Med Sci Sports Exerc.** v.24, pp. 807-813, 1992.

Hirata, P. R.; Duarte, M. Análise da carga mecânica no joelho durante o agachamento. Universidade de São Paulo. 2006.

HOUGLUM, P A. BERTOTI, D B. Cinesiologia clínica de Brunnstrom. **Manole**, 6ª edição, p.16, 2014.

HUBERTI, H. H., and W. C. HAYES. Patellofemoral contact pressures. The influence of q-angle and tendofemoral contact. **J. Bone Joint Surg.** [Am]. 66:715–724, 1984.

HUNGERFORD, D. S., and M. BARRY. Biomechanics of the patellofemoral joint. **Clin. Orthop.** 144:9–15, 1979.

KOBAYASHI, K, et al. In vivo kinematics of the extensor mechanism of the knee during deep flexion. **Journal of Biomechanical Engineering**. 2013, Vol. 135/081002-1.

KOBAYASHI, K, et al. In vivo patellar tendon kinematics during weight bearing deep knee flexion. **Orthopaedic Research Society**. 1596–1603, 2012.

Palmitier RA, An KN, Scott SG, et al: Kinetic chain exercise in knee rehabilitation. **Sports Med** 11: 402-413, 1991.

PEARSON, JP; MOHAMMED, AS; HUSSAIN, RS. Patellar tendon in vivo regional strain with varying knee angle. **Journal of Biomechanics**. 2017.

Preto SM, Ferreira AO, Martins BJ. Agachamento profundo: uma análise sistemática. **Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício**. 8(47):445-52, 2014.

REABILITECH. **Análise cinemática e cinética dos movimentos humanos**. 21 mar. 2018. Disponível em: <<https://www.reabilitech.com.br/analise-cinematica-e-cinetica-dos-movimentos-humanos/>>. Acesso em: 23 jun 2019.

Sobotta. Atlas de anatomia humana. Rio de Janeiro: **Guanabara Koogan**; 2008.

SOUSA, D. S. S. et al. Análise clínica da marcha exemplo de aplicação em laboratório de movimento. **2º Encontro nacional de biomecânica**. Portugal, 8 e 9 de Fevereiro, 2007.

Uchida MC, Charro MA, Bacurau RFP, Navarro F, Pontes Junior FL. Manual de musculação: uma abordagem teóricoprática ao treinamento de força. São Paulo: Phorte; 2010.

YILDIRIM, G, et al. The contact location in the knee during high flexion. **The Knee**. 379–384, 2007

ZATSIORSKY, V. M. **Kinetics of human motion**. Champaign: Human Kinetics, 2002.