

ASPECTOS BIOMECÂNICOS DO EXERCÍCIO AGACHAMENTO PROFUNDO RELACIONADOS À ARTICULAÇÃO DO JOELHO



Anselmo Gomes de Moura ^{a*}
Taffarel Michel Moreira Souza ^b
Leonardo Mateus Teixeira de Rezende ^a
Aurora Corrêa Rodrigues ^c

^a Faculdade Governador Ozanam Coelho / Ubá-MG

^b Faculdade de Viçosa / Viçosa-MG

^c Universidade Federal de Viçosa / Viçosa-MG

RESUMO

A execução do agachamento profundo consiste em realizar a flexão do joelho em ângulos maiores que 90° até que a coxa se encontre com o tríceps rural e está ligada com a funcionalidade de movimentos cotidianos. Este estudo objetivou observar a biomecânica do movimento em relação às articulações do complexo do joelho, por meio de uma revisão bibliográfica. Verificou-se que as cargas atuantes nas articulações que compõem o complexo do joelho durante a realização do agachamento profundo são as forças translacionais entre a tíbia e os ligamentos cruzados anterior e posterior, a compressão patelofemoral, a força de compressão tíbiofemoral e a força de tensão do tendão do quadríceps. Conclui-se que, embora apresente um potencial lesivo, em especial para indivíduos que apresentam acometimentos na articulação do joelho ou em processo de reabilitação, o agachamento profundo pode ser executado normalmente por pessoas que apresentam uma articulação do joelho saudável e não comprometida.

Palavras-chave: Agachamento profundo. Joelho. Biomecânica.

INTRODUÇÃO

A busca por melhorias na qualidade de vida, bem como o abandono do comportamento sedentário e do sedentarismo, tem levado a sociedade a novos conceitos sobre a prática do exercício físico. Entretanto, com o avanço das pesquisas científicas e a expansão das tecnologias de informação, os benefícios dessa prática têm atingindo um número elevado de pessoas por todo o mundo, levando-as à procura de profissionais especializados que atuam no ramo da atividade física voltada para promoção da saúde (Silva; Souza, 2011).

O agachamento é um exercício amplamente utilizado em um programa de exercício físico para ambos os sexos e em diversas faixas etárias (Slater; Hart, 2016). Delavier (2013) descreve esse exercício das seguintes formas: agachamento livre tradicional, agachamento com pernas afastadas (sumô), agachamento com barra à frente, agachamento com halteres, leg press inclinado, hack squat, afundo para frente e agachamento completo (profundo).

O agachamento profundo se apresenta como um excelente meio de fortalecimento dos músculos dos membros inferiores, como o quadríceps, os isquiotibiais, os glúteos, as panturrilhas, entre outros que atuam na

* E-mail: anselmogmef@yahoo.com.br

execução do movimento (Graham, 2001). Muitos profissionais, ao prescreverem o agachamento para o treinamento de força, procuram desenvolver somente o grupamento muscular quadríceps femoral. Porém, na fase profunda desse exercício, obtém-se uma forte ativação dos músculos posteriores da coxa, o que ajuda na neutralização da tensão exercida na patela, podendo ser reduzida até 50% (Shelburne; Pandey, 1998; Li et al., 1999). Fatores como esse tornam a realização e a prescrição desse exercício complexa, pois existem variações de execução e, devido sua importância, é um dos principais exercícios prescritos tanto para atletas como levantadores de peso olímpicos, assim como para a população em geral que buscam benefícios estéticos, redução de percentual de gordura, melhoria da saúde, dentre outros objetivos (Vanícola; Guida, 2012).

A execução do agachamento profundo consiste em realizar a flexão do joelho em ângulos maiores que 90°, ou seja, até que a coxa se encontre com o tríceps sural (Slater; Hart, 2016; Uchida et al. 2010). Sua execução está ligada de forma direta com a funcionalidade de movimentos cotidianos, pois usamos o agachamento constantemente em nossas atividades diárias, por exemplo, ao saltar, ao sentar e levantar de uma cadeira ou ao pegar um objeto no chão. Cinco articulações estão diretamente envolvidas na realização desse exercício: ombro, coluna vertebral (com ênfase na região lombar), quadril, joelho e tornozelo (Uchida et al. 2010). A todas essas articulações são atribuídas funções de mobilidade e estabilidade. Baixa mobilidade nas articulações do ombro, do quadril e do tornozelo, bem como baixa estabilidade da coluna lombar e joelho podem gerar um desconforto para essas regiões e são considerados fatores limitantes da execução do agachamento (Uchida et al. 2010).

A articulação do joelho é a maior e uma das mais complexas do corpo humano. Segundo Sobotta (2008), essa articulação é classificada como tipo gínglimo e definida pelo contato

entre quatro ossos: o fêmur, a patela, a tíbia e a fíbula. O fêmur se articula com a patela e com a tíbia, formando a articulação femoropatelar e tíbiofemoral. Por sua vez, os dois ossos da perna, a tíbia e a fíbula, formam a articulação tibiofibular. A articulação tibiofemoral realiza movimentos de flexão e extensão no plano sagital, a articulação patelofemoral realiza o deslizamento da patela sobre o côndilo do fêmur, enquanto a articulação tibiofibular realiza a rotação no plano horizontal, com maior capacidade rotacional em aproximadamente 90° de flexão do joelho (Floyd, 2001).

A cápsula articular dos joelhos é composta pelos ligamentos patelar (LP), cruzado anterior (LCA), cruzado posterior (LCP), colateral tibial ou medial (LCM), colateral fibular ou lateral (LCL) e transverso, além dos meniscos (medial e lateral) (Floyd, 2001). Em geral os ligamentos do joelho têm como função principal a estabilização estática da articulação (Schoenfeld, 2011). Especificamente, o LP possui a função de mobilização e estabilização da patela. O LCA previne a anteriorização da tíbia em relação ao fêmur. Já o LCP previne o deslizamento posterior da tíbia em relação ao fêmur. O LCM protege a parte medial do joelho de ser aberta por uma força aplicada nas laterais do joelho (força em valgo), enquanto que o LCL protege as laterais do joelho de uma força interior (força em varo) (Floyd, 2001).

Os meniscos são anéis cartilagosos incompletos, localizados entre os côndilos da tíbia e do fêmur, unidos entre si pelo ligamento transverso, onde o menisco medial está fixado diretamente ao ligamento colateral tibial (Hall, 2009). Ambos são mais espessos em suas bordas periféricas, onde fibras da cápsula articular os ancoram firmemente à tíbia. Além de diminuir o estresse articular, os meniscos distribuem a carga no joelho sobre uma maior superfície de área e também auxiliam na absorção de choques (Hall, 2009).

Durante a realização do agachamento profundo a articulação do joelho deve manter sua necessidade primária de estabilidade, evitando movimentos de varo e valgo. Outro

ponto estudado é a realização desse exercício ultrapassando a articulação do joelho a uma linha imaginária da ponta dos pés. Alguns autores (Evans, 2007; Lima; Pinto, 2006) consideram que o agachamento profundo possui um grande potencial lesivo, aumentando o risco de lesão das estruturas osteoarticulares que compõe a articulação joelho e do quadril em comparação com o agachamento realizado até 90º de angulação da articulação do joelho. A partir desta informação alguns profissionais evitam a prescrição do agachamento profundo. Contudo, Gentil e Oliveira (Gentil; Oliveira, 2016) denotam que este movimento não apresenta nenhum prejuízo para articulação do joelho, a partir de análises e pesquisas relacionadas à execução desse exercício.

Essa discussão entre a prescrição ou não do agachamento profundo gera muitas dúvidas em professores de Educação Física e praticantes de modalidades como musculação e levantamento de peso. Dessa forma, é importante analisar com cautela as pesquisas e seus resultados para a prescrição do agachamento profundo. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão de literatura a respeito do exercício agachamento profunda, a fim de realizar uma análise biomecânica do movimento em relação às articulações do joelho.

MÉTODOS

No presente estudo foi realizada uma revisão bibliográfica, com um tratamento de dados que identifica o tema determinado – agachamento profundo. Foram utilizadas as seguintes fontes de dados: Pub Med, Scientific Electronic Library Online (Scielo) e Google Acadêmico. Os descritores utilizados para a pesquisa foram: “agachamento”, “agachamento profundo”, “joelho” e “biomecânica do joelho”, publicados no período de 1987 a setembro de 2015. Além disso, foram utilizados oito (8) livros que contemplavam em seu conteúdo as temáticas

“cinesiologia”, “biomecânica” e “agachamentos”. A busca foi voltada para informações sobre as diferentes formas de execução do exercício agachamento profundo, contemplando os seguintes tópicos: forças mecânicas que atuam sobre a articulação do joelho, ações musculares e potencial lesivo da articulação do joelho durante a execução do agachamento profundo.

Como critério de inclusão, adotaram-se dados sobre a realização do agachamento profundo de forma dinâmica; e, como critério de exclusão, a realização do agachamento em isometria e em ângulos abaixo de 90°.

RESULTADOS

Durante a pesquisa inicial na base de dados, foram pré-selecionados 88 estudos e 8 livros. Todos os estudos pré-selecionados foram submetidos aos critérios de inclusão e exclusão, e sete (7) artigos e oito (8) livros foram selecionados para fazer parte desta revisão (Figura 1).

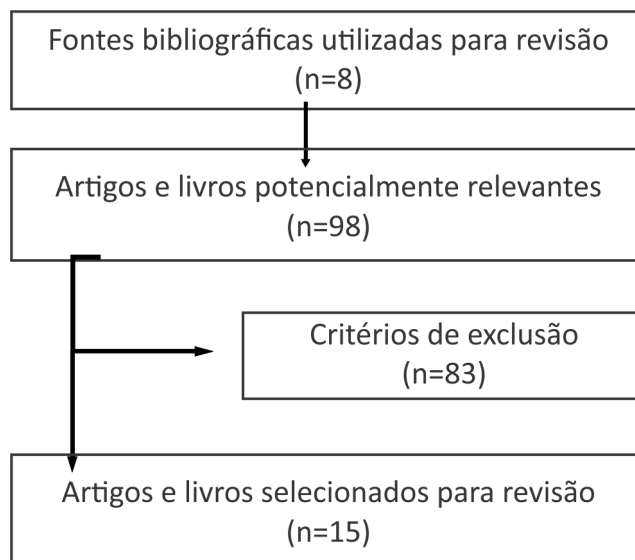


Figura 1 - Fluxograma de processo da seleção dos artigos e livros.

Os estudos foram agrupados de acordo com os temas definidos anteriormente. A Tabela 1 apresenta sete (7) artigos utilizados para a discussão, enquanto a Tabela 2 apresenta a relação dos livros utilizados. No total, foram avaliados sete (7) artigos e oito (8) livros ao final da revisão bibliográfica.

Tabela 1 - Artigos utilizados para discussão dos dados sobre a biomecânica do agachamento profundo

Autor	Avaliados	Assunto abordado
ESCAMILLA (2001).	Artigo de Revisão	Forças mecânicas; Ação muscular; Potencial lesivo.
GENTIL; OLIVEIRA (2012)	Artigo de Revisão	Potencial lesivo.
HIRATA (2006).	10 (homens: 7; mulheres: 3); Idade: 25 ± 5 anos.	Forças mecânicas; Ação muscular; Potencial lesivo.
PRETO et al. (2014)	Revisão Sistemática	Forças mecânicas.
REISER et al. (2014)	Artigo de Revisão	Forças mecânicas.
SCHOENFELD (2010)	Artigo de Revisão	Forças mecânicas.
SOLOMONOW et al. (1987).	15 (homens: 10; mulheres: 5). Idade: 24 ± 5 anos.	Ação muscular;

Tabela 2 - Livros utilizados para discussão dos dados sobre a biomecânica do agachamento profundo

Autor	Assunto abordado
DELAVIER (2013)	Ação muscular
EVANS (2007)	Potencial lesivo
FLOYD (2001)	Ação muscular
HAMILL e KNUZTEN (1999)	Ação muscular
HALL (2009)	Potencial lesivo e Forças mecânicas
LIMA e PINTO (2006)	Ação muscular e Pontencial lesivo
NEUMANN (2011)	Ação muscular

DISCUSSÃO

O objetivo desta revisão foi analisar a biomecânica do movimento do exercício agachamento profundo em relação às articulações do joelho, uma vez que encontramos uma contradição entre autores e estudiosos da

saúde sobre a execução correta ou proibição da prescrição do agachamento profundo. Assim, procuramos mostrar a maneira correta para se realizar o movimento sem causar lesões musculoesqueléticas à articulação do joelho. A seguir serão apresentados e discutidos os aspectos relacionados ao objetivo do estudo.

Forças mecânicas que atuam sobre a articulação do joelho durante a execução do agachamento profundo

Durante o movimento do agachamento profundo, as articulações tibiofemoral e patelofemoral sofrem a atuação de diversas cargas mecânicas. Dentre elas, pode-se destacar a compressão, a tensão, o cisalhamento, a flambagem, a torção e a carga combinada (Hall, 2009).

A compressão é caracterizada pela força aplicada na direção axial de um corpo que tende a comprimi-lo ou esmagá-lo. A tensão é a força de estiramento com direção axial através de um corpo. A carga de cisalhamento é considerada a força com direção paralela a superfície. A flambagem é caracterizada pela aplicação assimétrica de uma carga que produz tensão de um lado e compressão do outro. A torção é a carga que produz rotação de um corpo em torno de seu eixo longitudinal. A carga combinada é considerada a ação simultânea de mais de uma forma pura de carga. O efeito de determinada força depende de sua direção, duração e magnitude de força (Hall, 2009).

Reiser et al. (2014) especificam quais cargas estão atuantes nas articulações que compõem o complexo do joelho durante a realização do agachamento profundo. Dentre elas, encontramos as forças translacionais, em que a contenção da tibia sobrecarrega respectivamente o LCA e o LCP; a compressão patelofemoral, resultante da compressão da patela pela área de contato com o fêmur; além da força de compressão tibiofemoral e da força de tensão do tendão do quadríceps.

De acordo com o estudo de Escamilla (Reiser et al., 2014), a flexão do joelho em ângulos

maiores do que 50-60° indica um aumento pequeno ou moderado na força de cisalhamento no LCP. No entanto, essa mesma força atua no LCA nos primeiros graus de flexão do joelho, entre 0-60°, o que provavelmente não representa uma magnitude de força suficiente para prejudicar ligamentos saudáveis de indivíduos ativos. Esse mesmo estudo afirma que a força de compressão patelofemoral aumenta progressivamente com o aumento da flexão do joelho. O mesmo acontece com a força de compressão tibiofemoral, que por sua vez pode ser influenciada ainda mais por um aumento excessivo da carga externa.

Entretanto, Preto et al. (2014) afirmam que as forças de compressão podem ser um importante fator na estabilização do joelho, resistindo às forças de cisalhamento e minimizando a translação da tibia em relação ao fêmur. Matematicamente, a força compressiva no joelho é mais intensa quando o ângulo de flexão do joelho é maior, pois existem componentes de força maiores no tendão do quadríceps e ligamento patelar na direção compressiva. A força patelofemoral encontrada foi cerca de 30% maior quando o joelho ultrapassa a linha vertical do pé, o que indica um maior risco de lesão nesta articulação (20). A força de compressão tibiofemoral apresenta seu maior pico em aproximadamente 8000N à 130°, reduzindo a 31,25% (5500N) a 60°, e 52% (3500N) a 30° de flexão durante a compressão (Reiser et al., 2014). O ligamento patelar controla as forças que agem sobre a patela para produzir um deslocamento superior, do mesmo modo que o tendão quadricipital resiste às forças que causam o deslocamento inferior da patela. Segundo Hirata (2006), essas duas forças também agem na patela durante o exercício agachamento, aumentando sua magnitude de acordo com aumento do grau de flexão do movimento.

Em comparação ao posicionamento dos pés, Schoenfeld (2010) afirma que a posição estreita pode ser preferível à postura ampla se o objetivo for minimizar as forças de compressão patelofemoral e tibiofemoral. Por outro lado, um agachamento com postura estreita resulta em

uma translação de aproximadamente 4 a 6 cm maior para frente do joelho, gerando, portanto, maior cisalhamento em comparação com uma posição ampla.

As forças internas geradas pela ação muscular foram consideradas cerca de três vezes maiores que as forças de compressão resultante. O exercício agachamento com ângulos de flexão de joelho entre 71° a 95° geram maiores forças de compressão resultante, que por sua vez é totalmente favorável para minimizar forças de tensão exercida nos ligamentos cruzados (Preto; Ferreira; Martins, 2014).

Ações musculares atuantes durante a execução do agachamento profundo

Segundo Delavier (2013), os músculos envolvidos na execução do agachamento são: reto femoral, vasto lateral, vasto medial, vasto intermédio, sartório, adutores da coxa, isquiotibiais, iliopsoas, glúteos médio e máximo, tríceps sural e tibial anterior. Lima e Pinto (2006) afirmam que as variações na forma de execução desse exercício não causam alterações na participação sinérgica dos músculos, mas sim na intensidade de ativação dos mesmos.

De acordo com Floyd (2001), na articulação do quadril o grupo muscular dos flexores atua como agonista primário do movimento. Tal fato tem sua importância, uma vez que esses músculos possuem função estabilizadora sobre a articulação do quadril. No caso do grupo extensor do quadril, os músculos semimembráneo e semitendíneo atuam na extensão contra resistência, e o glúteo máximo possui grande capacidade de gerar força. Para Hamill e Knutzen (1999), com uma maior função de estabilidade do que de mobilidade, parte da força da flexão plantar é produzida pelo músculo gastrocnêmio e sóleo. Já na dorsoflexão, o tibial anterior controla os movimentos na fase excêntrica devido ao deslizamento da tibia sobre o pé.

Quanto à ação sinérgica do sistema musculoesquelético na realização do

agachamento, Lima e Pinto (2006) definem que a rotação externa e a pequena abdução dos quadris, associadas à manutenção do alinhamento entre o quadril, joelho e tornozelo, provocam a ativação dos adutores durante a execução do movimento. Além disso, para facilitar a estabilização do tronco é exigida uma ampla atividade isométrica dos músculos trapézio, romboides, abdominais, eretores da espinha, dentre outros. Ao todo, estima-se que são ativados aproximadamente duzentos músculos durante a realização do agachamento profundo (Solomonow et al., 1987). O ponto máximo de torque do quadríceps durante o agachamento profundo encontra-se em aproximadamente 60 a 80° de angulação durante a execução do movimento, sendo maior nas condições onde a linha vertical do pé é ultrapassada (Hirata, 2006). Para Escamilla (2001), o pico de torque dos isquiotibiais ocorre próximo a angulação de 50 a 70° de flexão do joelho, mostrando uma maior atividade global na fase concêntrica do movimento.

A profundidade do agachamento afeta diretamente no torque externo sobreposto no joelho (Neumann, 2011). Este mesmo torque pode ser estimado pela comparação da distância em que o vetor de peso do corpo cai posteriormente com o eixo de rotação médio lateral do joelho, ocorrendo assim um aumento no braço de força à medida que se aumenta a profundidade do movimento (Neumann, 2011).

Potencial lesivo do agachamento profundo para a articulação do joelho

A literatura apresenta discordância sobre o potencial lesivo do agachamento profundo. Alguns autores defendem um alto potencial lesivo (Evans, 2007; Lima; Pinto, 2006), enquanto outros discordam (Gentil, 2016).

Essa discussão surge em virtude da realização desse exercício ultrapassando a articulação do joelho a uma linha imaginária da ponta dos pés. Hirata (20), denota que a força de compressão patelofemoral encontra-se cerca

de 49% maior na execução do exercício quando a articulação do joelho ultrapassa uma linha imaginária da ponta dos pés. De acordo com Escamilla (2001), o aumento da compressão patelofemoral pode levar à condromalácia devido às fricções crônicas entre a patela e o sulco patelar do fêmur. No caso de lesões, em particular durante a prática de exercício físico e esporte, Hall (2009) relata que a articulação do joelho está sujeita a ruptura parcial ou total dos LCA, LCP e LCM, as lesões meniscais, além da síndrome do atrito do trato iliotibial, que normalmente é resultado da inflamação da porção distal do trato iliotibial. Pode ocorrer ainda a síndrome do estresse tibial medial, caracterizada por inflamação do perióstio ou por microdanos na inserção muscular da tibia. Cabe ressaltar que, quando o joelho ultrapassa a linha vertical do pé, é possível causar maior sobrecarga também na coluna lombar, causando danos também à articulação do quadril, devido ao aumento do torque articular interno (Hirata, 2006).

Para indivíduos com joelhos saudáveis, executar o agachamento profundo com angulação de 90-110 ° não resulta em problemas, principalmente quando não ocorre o uso excessivo de torques externos. Cuidados devem ser tomados com levantadores de peso, jogadores de futebol, dentre outros atletas, que muitas vezes são expostos a treinamentos com altas sobrecargas por longos períodos de tempo (Escamilla, 2001).

CONCLUSÃO

Embora apresente potencial lesivo, o agachamento profundo pode ser executado normalmente por pessoas que dominam a técnica de sua execução apresentando uma articulação do joelho saudável e não comprometida. No entanto, não se pode generalizar e permitir que todos os indivíduos realizem a prática indiscriminada do agachamento profundo. Durante os treinos deve-se respeitar uma sequência pedagógica que norteie o treinamento de força, dando ênfase

à técnica perfeita de execução. Indivíduos que apresentam acometimentos na articulação do joelho ou estão em processo de reabilitação devem evitar a execução desse exercício devido às cargas mecânicas impostas à articulação do joelho. Já na comparação da postura correta de execução, foi visto que ultrapassar o joelho à linha vertical do pé e manter os pés em posição estreita aumenta perigosamente as forças compressivas, crescendo assim o risco de lesões no joelho.

REFERÊNCIAS

- Delavier F. Guia dos movimentos de musculação. 2ª ed. Barueri, SP: Manole; 2013.
- Eiser FC, Souza CW, Mascarenhas GP, Grzelczak TP. Aspectos biomecânicos do agachamento em membros inferiores Rev. Acta Brasileira do Movimento Humano 2014 4(2): 99-113.
- Escamila RF. Knee biomechanics of the dynamic squat exercise. Med Sci Sports Exerc 2001 Jan; 33(1):127-41.
- Evans N. Anatomia da musculação. Barueri, SP: Manole; 2007.
- Floyd RT. Manual de cinesiologia estrutural. 16ª ed. Barueri, SP: Manole; 2001.
- Gentil P, Oliveira, O. Grupo de estudos avançados em saúde e exercícios [homepage na internet]. Análise da disponibilidade domiciliar de alimentos e do estado nutricional no Brasil [acesso em 27 set 2016]. Disponível em: http://www.gease.pro.br/artigo_visualizar.php?id=69.
- Graham JF. Back Squat. Strength & Cond J. 2001 out; 23(5):28-9.
- Hall, SJ. Biomecânica básica. 5ª ed. Barueri, SP: Manole, 2009.
- Hamill J, Knutzen KM. Bases biomecânicas do movimento humano. Barueri, SP: Manole; 1999.
- Hirata PR. Análise da carga mecânica no joelho durante o agachamento. Dissertação [Mestrado em Educação Física] – Universidade de São Paulo; 2006.
- Li G, Rudy TW, Sakane M, Kanamori A, Ma CB, Woo SL. The importance of quadriceps and hamstring muscle loading on knee kinematics and in-situ forces in the ACL. J Biomech 1999 abr; 32(4):395-400.
- Lima SC, Pinto SR. Cinesiologia e musculação. Porto Alegre: Artmed; 2006.
- Marchetti PH, Gomes WA, Luz Junior DA, Giampaoli B, Amorim MA, Bastos HL, Ito DT, Vilela Junior GB, Lopes CR, Bley AS. Aspectos neuromecânicos do exercício agachamento. Revista CPAQV- Centro de pesquisas avançadas em qualidade de vida. 2013; 5(2).
- Neumann A.D. Cinesiologia do aparelho musculoesquelético: fundamentos para reabilitação. Elsevier; 2011.
- Preto SM, Ferreira AO, Martins BJ. Agachamento profundo: uma análise sistemática. Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício 2014 8(47):445-52.
- Schoenfeld BJ. Squatting kinematics and kinetics and their application to exercise performance. J. Strength Cond Res. 2010. 24(12): 3497–506.
- Silva AG, Souza SM. Agachamento profundo no fortalecimento das estruturas do joelho em praticantes de musculação. Revista Brasileira de Biomecânica; 2011.
- Shelburne KB, Pandy MG. Determinants of cruciate-ligament loading during rehabilitation exercise. Clin Biomech (Bristol, Avon) 1998 Set; 13(6):403-13.
- Slater LV, Hart JM. Muscle activation patterns during different squat techniques. J Strength Cond Res. 2016 Jan.
- Sobotta. Atlas de anatomia humana. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2008.
- Solomonow M, Baratta R, Zhou BH, Shoji H, Bose W, Beck C, D'Ambrosia R. The synergistic action of the anterior cruciate ligament and thigh muscles in maintaining joint stability. Am J Sports Med 15: 207–213, 1987.
- Uchida MC, Charro MA, Bacurau RFP, Navarro F, Pontes Junior FL. Manual de musculação: uma abordagem teórico-prática ao treinamento de força. São Paulo: Phorte; 2010.
- Vanícola MC, Guida S. Postura e Condicionamento Físico. São Paulo: Phorte; 2012.