

12 - 1 | 2024

Análise da Coordenação Motora da Marcha em Idoso com Artroplastia Total do Joelho: Estudo de Caso

Analysis of Gait Motor Coordination in Elderly with Total Knee Arthroplasty: Case Study

**Bárbara Tavares | Inês Leal | Cristiana
Mercê | Marco Branco**

Versão eletrónica

URL: <https://revistas.rcaap.pt/uiips/> ISSN: 2182-9608

Data de publicação: 05-08-2024 Páginas: 12

Editor

Revista UI_IPSantarém

Referência eletrónica

Tavares, B.; Leal, I.; Mercê, C. & Branco, M. (2024). Análise da Coordenação Motora da Marcha em Idoso com Artroplastia Total do Joelho: Estudo de Caso. *Revista da UI_IPSantarém. Edição Temática: CCCC*. 12(1), e33420. <https://doi.org/10.25746/ruiips.v12.i1.e33420>

ANÁLISE DA COORDENAÇÃO MOTORA DA MARCHA EM IDOSO COM ARTROPLASTIA TOTAL DO JOELHO: ESTUDO DE CASO

Analysis of Gait Motor Coordination in Patients with Total Knee Arthroplasty: Case Study

Bárbara Tavares

Instituto Politécnico de Santarém, Escola Superior de Desporto de Rio Maior, Portugal
tavaresbarbara250@gmail.com

Inês Leal

Instituto Politécnico de Santarém, Escola Superior de Desporto de Rio Maior, Portugal
inesgleal01@gmail.com

Cristiana Mercê

Instituto Politécnico de Santarém, Escola Superior de Desporto de Rio Maior, Portugal
cristianamerce@esdrm.ipsantarem.pt

Marco Branco

Instituto Politécnico de Santarém, Escola Superior de Desporto de Rio Maior, Portugal
marcobranco@esdrm.ipsantarem.pt

RESUMO

A avaliação da marcha é um fator crucial na medição dos resultados pós-operatório da Artroplastia Total do Joelho. A Artroplastia Total do Joelho (ATJ) é uma opção cirúrgica destinada a pacientes com estágios avançados de degeneração articular no joelho. O objetivo deste estudo consistiu em avaliar as assimetrias na coordenação motora na marcha de um indivíduo idoso com ATJ. O participante, com 68 anos e do sexo masculino, realizou uma única sessão de marcha onde foram captados os dados do giroscópio, através da aplicação *Phyphox*. O tratamento de dados foi realizado no Microsoft Excel. Através da análise da fluidez e dispersão das linhas, os resultados evidenciaram que entre os vários planos, o plano sagital apresentou a melhor coordenação motora. Verificou-se ainda uma menor rotação externa do membro inferior submetido a ATJ. De acordo com os resultados e, de forma a reduzir as assimetrias identificadas, recomenda-se que o participante realize exercícios de reforço muscular e propriocepção.

Palavras-chave: Artroplastia Total, Joelho, Idoso, Coordenação Motora, Exercício Físico.

ABSTRACT

The evaluation of gait is a crucial factor in measuring postoperative outcomes of Total Knee Arthroplasty (TKA). Total Knee Arthroplasty is a surgical option intended for patients with advanced stages of knee joint degeneration. The aim of this study was to assess motor coordination asymmetries in the gait of an elderly individual with TKA. The participant, a 68-year-old male, underwent a single gait session during which gyroscope data was captured using the Phyphox application. Data processing was performed in Microsoft Excel. Through the analysis of smoothness and dispersion of lines, the results revealed that, among various planes, the sagittal plane exhibited the best motor coordination. Additionally, a lower external rotation of the lower limb subjected to TKA was observed. Based on the results and to mitigate the identified asymmetries, it is recommended that the participant engage in muscle strengthening and proprioception exercises.

Keywords: Total Arthroplasty, Knee, Elderly, Motor Coordination, Physical Exercise

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a Artroplastia Total no Joelho (ATJ) tem vindo a ser estabelecida como um procedimento clínico *standard* (Van der Bracht et al., 2010). Em Portugal, entre o ano de 2021 e 2023 foram realizadas 3.494 Artroplastias Totais de Joelhos (Registo Português de Artroplastias, 2023). A literatura tem vindo a evidenciar que não existe superioridade nos resultados clínicos entre os diferentes *designs* de próteses existentes, sendo a ATJ a mais recomendada (Tibesku et al., 2011). A redução da dor, a melhoria da função biomecânica e o aumento da qualidade de vida na maioria dos pacientes são características predominantes quando se realiza uma ATJ (Van der Bracht et al., 2010).

A avaliação da marcha é um fator crucial na medição dos resultados pós-operatórios da ATJ, revelando-se um indicador de recuperação funcional, sendo que a independência do indivíduo está diretamente relacionada à habilidade de ajustar a marcha às exigências diárias, como caminhar em diferentes velocidades e superfícies (van den Akker-Scheek et al., 2007). Durante a marcha, o peso do corpo é suportado por um dos membros inferiores, enquanto o outro executa o movimento de progressão, à medida que o centro de gravidade vai sendo deslocado para a frente. A marcha é então representada por uma sucessão de transferência do peso do calcâneo à ponta do pé e entre os membros inferiores (Ottoboni et al., 2002).

O padrão de marcha dos pacientes com problemas no joelho sofre uma mudança significativa após a Artroplastia Total do Joelho, tendo sido demonstrado que um padrão de marcha fisiológico após a ATJ resulta numa recuperação mais eficaz em termos de resultados relacionados ao paciente, em comparação com um padrão de marcha não fisiológico (Hatfield et al., 2011; Kirschberg et al., 2018). A simetria da marcha é um dos principais parâmetros que avaliam a marcha (Beck et al., 2018; Kodesh et al., 2012). Não obstante, apesar das vantagens demonstradas em relação ao procedimento da ATJ, os padrões da marcha e as capacidades neuromusculares dos quadríceps e isquiotibiais mostram défices significativos nos meses/anos seguintes após a cirurgia (Judd et al., 2012; Vahtrik et al., 2012). Estudos prévios verificaram que após a intervenção cirúrgica da ATJ, o funcionamento do joelho apresenta alterações na sua funcionalidade, sendo que a irregularidade da marcha pode predispor o indivíduo a uma maior degeneração articular, especialmente no joelho operado (Milner, 2009). A literatura também tem demonstrado que a força ao nível da anca após a ATJ desempenha um papel fundamental na qualidade da marcha e na mobilidade funcional.

Posto isto, quando existe uma fraqueza nos membros inferiores, originam-se consequências como: (i) diminuição da velocidade da marcha (ii) o aumento do risco de quedas e (iii) redução da mobilidade funcional nos idosos (Judd et al., 2012). A coordenação motora é o domínio dos graus de liberdade redundantes de uma cadeia biocinemática para produzir um movimento controlado. Embora cada elemento da cadeia biocinemática possa executar movimentos de forma independente, as relações entre ações motoras dos diferentes segmentos determinam a coordenação motora necessária para cada tarefa (Bernstein, 1966). Uma das estratégias utilizadas pelo sistema nervoso central para promover a coordenação motora durante a marcha consiste em permitir, alguma variabilidade no comportamento angular através da covariação dos movimentos dos segmentos biocinemáticos dos membros inferiores, de forma a compensar as alterações individuais apresentadas (Todorov & Jordan, 2002). As estratégias de coordenação englobam, para além da modulação dos graus de liberdade de cada articulação da biocinemática, a alteração da variabilidade e estabilidade do movimento nas ações motoras (Latash, 2008). Dessa forma, em geral, os estudos que abordam a coordenação motora referem-se a aspetos como coordenação inter e intrassegmentar, bem como variabilidade (Crowther et al., 2008; Heiderscheit et al., 2002; Pelegrinelli et al., 2022; Seifert et al., 2010; Wang et al., 2022).

A análise da marcha em pacientes com ATJ, nomeadamente da sua coordenação, tem vindo a ser realizada com recurso sistemas optoelectrónicos dispendiosos que nem sempre estão ao alcance da maioria dos investigadores e técnicos de exercício (Pelegrinelli et al., 2022; Wang et al., 2022). Por outro lado, a evolução tecnológica tem permitido desenvolver *gadgets* científicos cada vez mais pequenos, sensíveis e também económicos, como os sensores inerciais, os quais podem ser utilizados para recolher e tratar dados ao nível do comportamento motor (Camomilla et al., 2018). Estes sensores inerciais podem ser encontrados inclusivamente em alguns *smartphones*, o que o torna a sua utilização ainda mais acessível.

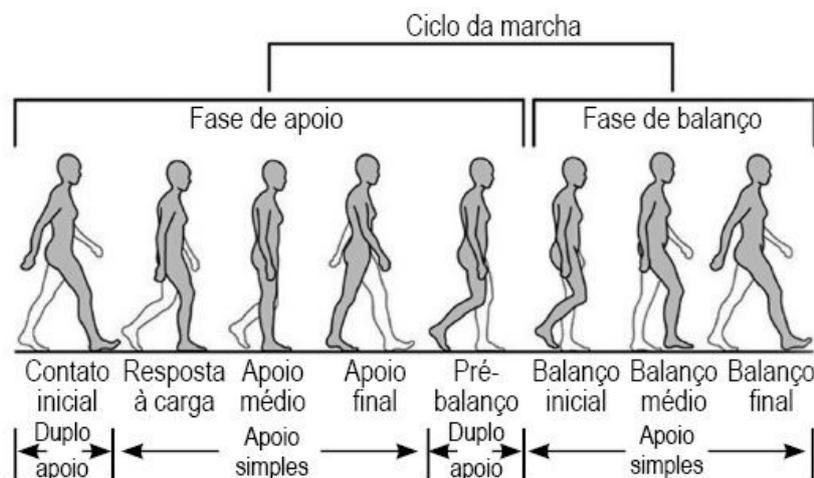
Com base nas considerações acima referidas, as quais sustentam os problemas de coordenação em indivíduos com ATJ, o objetivo deste estudo consistiu em avaliar as assimetrias na coordenação motora na marcha de um indivíduo idoso submetido a uma ATJ, comparando o membro inferior intervencionado com o membro não operado dez meses após a intervenção, através da análise semi-quantitativa de gráficos de fase. Para tal foi utilizada uma aplicação de *smartphone*, a qual evidencia o potencial inovador de recolha de dados em coordenação motora, tendo sido analisados os três planos de movimento diferentes (i.e., sagital, frontal e transversal). Neste contexto, definiu-se como hipótese a existência de diferença significativa entre o membro inferior com ATJ e o membro não operado, manifestando padrões de marcha assimétricos.

2 MÉTODOS

2.1 Abordagem Experimental do Problema

O ciclo da marcha, tal como consta na Figura 1, é dividido em duas fases principais: fase de apoio e fase de balanço. Dentro destas duas fases existem oito subfases. Na fase de apoio: (i) contacto inicial, (ii) resposta à carga, (iii) apoio médio, (iv) apoio final e (v) pré-balanço. Na fase de balanço: (vi) balanço inicial, (vii) balanço médio e (viii) balanço final. O conhecimento das características das fases da marcha permitem analisar qualitativamente o padrão apresentado por um indivíduo (Harris & Wertsch, 1994).

Figura 1. Análise da Marcha (Harris & Wertsch, 1994)



2.2 Participantes

O presente estudo consiste na metodologia de estudo caso, tendo sido incluída a análise de apenas um indivíduo idoso, que foi submetido a uma intervenção cirúrgica de ATJ há 10 meses, as características do participante encontram-se na Tabela 1. O participante foi escolhido para integrar o estudo uma vez que, de acordo com literatura anterior, as alterações e défices musculares ainda se encontrem presentes após 10 meses da cirurgia (Valtonen et al., 2009), sendo comum fazer avaliações pós-cirurgia entre 6 a 10 meses (Heinlein et al., 2009).

Tabela 1. Características do indivíduo

Idade (anos)	Altura (cm)	Peso (kg)	Comprimento Perna (cm)	Gordura Corporal (%)	Nível de AF	IMC (kg/m ²)
68	170	80.2	50	40.3	IA-A	27.8

Legenda: AF = Atividade Física. IA-A= Irregularmente Ativo-A. IMC= Índice de Massa Corporal.

Foi aplicado o consentimento informado, tendo sido cumpridos os princípios dos tratados de Helsínquia e de Tóquio, sobre estudos com humanos. Importa referir que o participante não sofria de nenhuma doença neurológica ou cardíaca. A perna dominante do participante é a perna direita.

2.3 Tarefa

O indivíduo realizou uma única sessão de marcha, na qual foram captados dados de velocidade angular nos três diferentes planos de movimento (i.e., frontal, transversal e sagital) através da utilização de um *smartphone* (Iphone 7 Apple, Califórnia) com giroscópio. A tarefa da sessão foi realizada em casa, em chão de madeira e, consistiu na realização de marcha contínua, sem uma velocidade predefinida, tendo sido solicitado ao participante que executasse a marcha da forma mais natural possível, durante aproximadamente 30 segundos. A tarefa foi realizada duas vezes,

de forma a permitir a colocação do instrumento, i.e., *smartphone* com giroscópio, e recolha de dados nas duas pernas.

2.4 Procedimento e Protocolos

Para registo de dados, foi utilizada a aplicação denominada *Phyphox*. O *smartphone* foi colocado na vertical mesmo acima do maléolo lateral, como se pode verificar nas Figura 2 e 3. Para registo de vídeo, o movimento da marcha foi capturado através de outro *smartphone* (Iphone 11 Apple, Califórnia) posicionado de forma perpendicular ao plano de movimento.

Figura 3.

Posicionamento perna direita

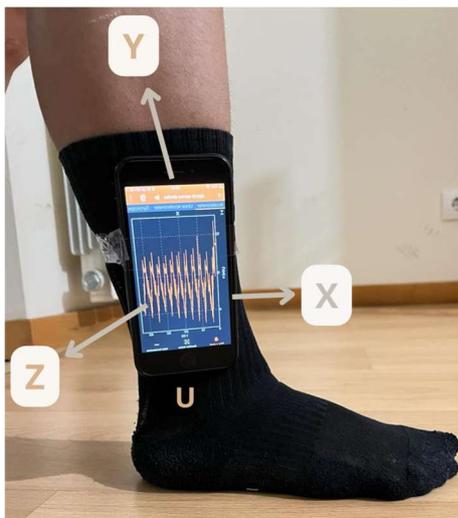


Figura 2.

Posicionamento perna esquerda (ATJ)



A análise da marcha através de recolha de dados com *smartphone* tem-se demonstrado um método válido, confiável, económico e de fácil aplicação para a avaliação do padrão (Howell et al., 2020; Silsupadol et al., 2017).

2.5 Variáveis

Para o presente estudo, considerou-se como variável dependente a coordenação motora da marcha num indivíduo com ATJ analisada através da velocidade angular; e como variável independente a realização da ATJ. Foram ainda consideradas como variáveis moderadoras a idade e o género.

2.6 Tratamento de Dados

Após a recolha os dados foram exportados do *Phyphox* e transferidos em formato *xlsx*. O tratamento de dados foi realizado através do programa Microsoft Excel (versão do Office 2016). Primeiramente os resultados foram convertidos de radianos para graus; foi aplicado cálculo do integral para determinar o deslocamento angular; e aplicado uma correção ao deslocamento angular. Após isso, realizámos os gráficos de fase através dos planos e dos respetivos graus.

3 RESULTADOS

3.1 Plano Sagital

Considerando a apresentação e análise dos dados por planos de movimento, importa referir que no plano sagital se realizam os movimentos de flexão e extensão. Na marcha, a flexão e extensão recrutam os quadríceps (i.e., vasto externo e interno, reto femoral e sartório) e os isquiotibiais (i.e., semitendinoso, semimembranoso e bicipite crural) (VanPutte et al., 2016).

Durante o ciclo da marcha, em ambas as pernas verificou-se baixa coordenação motora, visível através do afastamento das linhas na fase de apoio, fase em que existe o contacto inicial e a resposta à carga, que corresponde ao início do movimento em que a perna faz o movimento de extensão, como consta na Figura 4 e 5. É igualmente possível verificar que é na fase de balanço, mais concretamente no balanço inicial da marcha, que existe uma maior assimetria entre as duas pernas, sendo que a perna submetida a ATJ, revela um menor controlo e coordenação dos músculos, de acordo com a Figura 4. Considerando os resultados identificados acima, verifica-se que o participante apresenta baixa coordenação motora na fase do contacto inicial (i.e., quando está apenas o calcanhar apoiado no chão) em ambas as pernas, existindo uma perda de controlo e coordenação considerável da perna com ATJ na fase de balanço inicial.

Figura 5. Plano Sagital Perna Esquerda (ATJ)

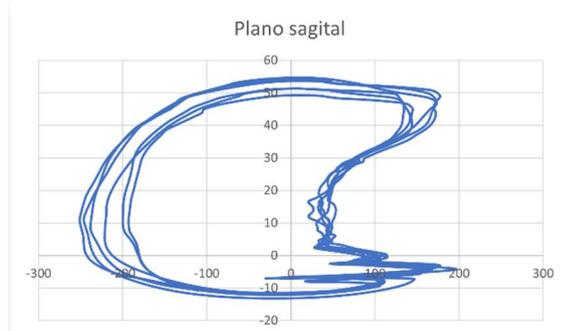
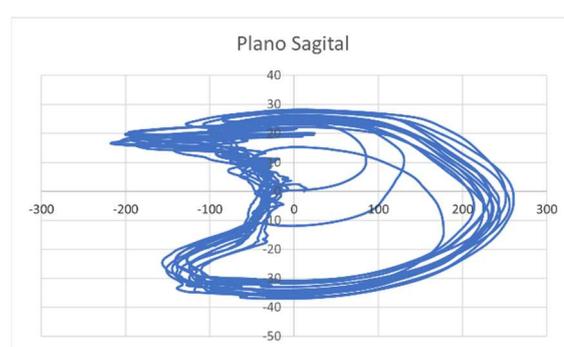


Figura 4. Plano Sagital Perna Direita



3.2 Plano Frontal

No plano frontal, realizam-se os movimentos de adução e abdução. Na marcha, a adução e abdução recrutam o pequeno e médio glúteo, o tensor da fáscia lata e os adutores (VanPutte et al., 2016). O segmento que executa o movimento de adução e abdução é a coxa e não a perna, portanto, podemos afirmar que os movimentos referentes ao plano frontal são necessários para a estabilização da coxa e da bacia. Com base nesta premissa, é possível verificar que, na perna direita, existe uma menor estabilização da coxa e da bacia, uma vez que no gráfico, como consta na Figura 7. As linhas estão mais dispersas, significando que existe também uma menor coordenação motora (Lamb & Bartlett, 2017).

Figura 6. Plano Frontal Perna Esquerda (ATJ)

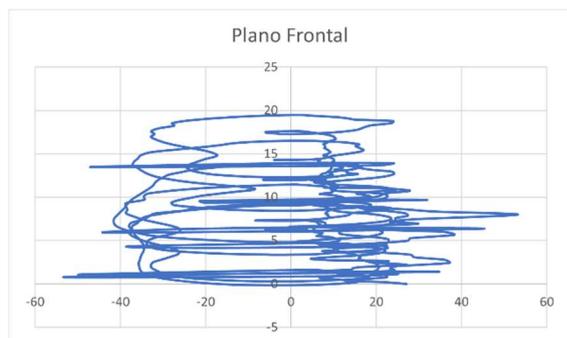
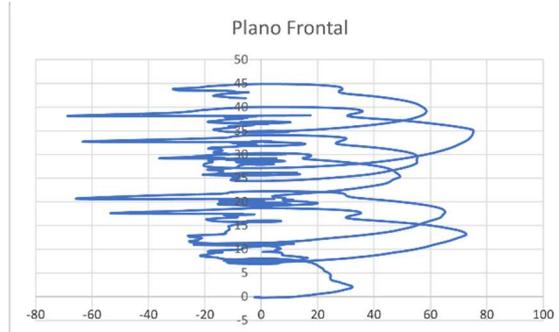


Figura 7. Plano Frontal Perna Direita



3.3 Plano Transversal

Por fim, no plano transversal realizam-se os movimentos de rotação interna e externa. Na marcha, a rotação interna e externa recrutam o pequeno e médio glúteo, os adutores e o psoas-íliaco (VanPutte et al., 2016). Contrariamente ao verificado no plano frontal, no plano transversal a perna com ATJ, de acordo com a Figura 9, revela uma menor coordenação e estabilização nos movimentos de rotação, expressa através da maior divergência das linhas no gráfico de fase, o que indica uma menor estabilização da bacia e da coxa (Lamb & Bartlett, 2017).

Figura 8. Plano Transversal Perna Esquerda (ATJ)

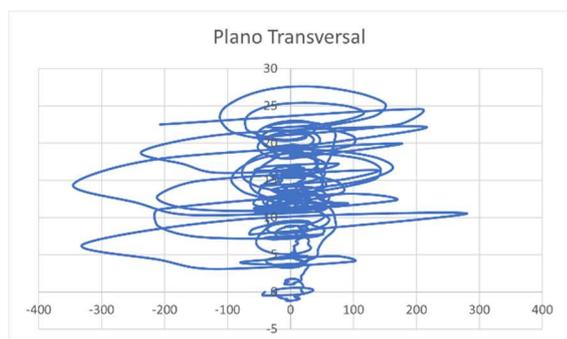
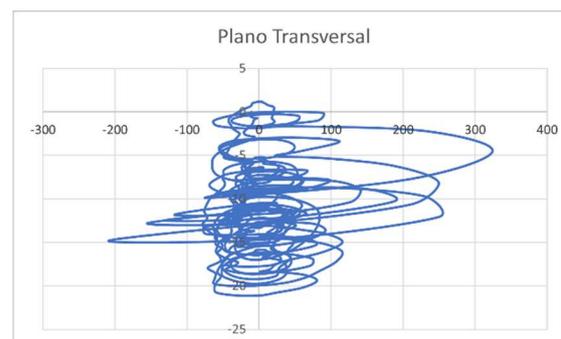


Figura 9. Plano Transversal Perna Direita



4 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

O objetivo do presente estudo consistiu em avaliar as assimetrias na coordenação motora na marcha de um indivíduo submetido a uma ATJ, comparando o membro inferior operado com o membro não operado 10 meses após a intervenção, através de uma análise semi-quantitativa de gráficos de fase. Após esta análise foi possível verificar que o plano de movimento no qual o indivíduo apresentou uma maior coordenação motora consistiu no plano sagital, onde ocorre a flexão e extensão da perna. No entanto, apesar de ser o plano de movimento mais controlado, foi verificada uma assimetria da perna com ATJ comparativamente à direita na fase de balanço inicial. Esta diferença pode possivelmente ocorrer devido a um conflito pelo controlo do movimento entre os músculos agonistas (quadríceps) e antagonistas (isquiotibiais) durante essa fase da marcha. A literatura tem evidenciado que pacientes submetidos a cirurgias de ATJ podem apresentar uma fraqueza no grupo muscular quadríceps, uma vez que o ligamento cruzado anterior (ACL) é encurtado nessas operações (Pincivero et al., 2002). Desta forma, os presentes resultados encontram-se em consonância com estudos anteriores que afirmam uma análise cinemática

semelhante no plano sagital durante a fase de apoio em pacientes submetidos a uma ATP (Fuchs et al., 2002; Saari et al., 2005).

No plano frontal verificou-se uma menor estabilização da coxa e da bacia na perna direita em relação à perna com ATJ. Esta diferença poderá resultar, possivelmente, devido ao facto de que a perna direita tem uma maior função de suporte em relação à perna que sofreu a ATJ. Para além disso, importa referir que a recolha de dados foi realizada no final do dia, o que poderá ter promovido uma maior fadiga dos músculos estabilizadores da coxo-femoral e, conseqüentemente, uma menor coordenação motora.

Por fim, no plano transversal, no qual onde ocorrem os movimentos de rotação interna e externa e, à semelhança do plano frontal, a função dos músculos envolvidos passa também pela estabilização da coxa e da bacia. A perna com ATJ revelou uma menor estabilização da coxo-femoral, visível na Figura 9, pela dispersão das linhas. Ainda neste gráfico de fase do plano transversal é possível verificar que existe na perna com ATJ ~~existe~~ uma menor rotação externa do pé, o que poderá indicar uma possível compensação (devido à prótese) dessa mesma perna. Normalmente, os músculos estabilizadores agem de forma mais lenta, ou seja, de uma forma mais isométrica, contudo, no caso da perna que sofreu a ATJ, provavelmente os músculos estabilizadores tendem a agir de forma mais rápida para compensar a falta de estabilização (VanPutte et al., 2016). Apesar desta observação, a diferença assimétrica de um membro para o outro não parece ser, visualmente, muito expressiva, o que vai de acordo com o estudo anterior de Maier e seus colaboradores (2019). Neste estudo os autores ~~r~~ tiveram como objetivo analisar a caracterização de pacientes submetidos ATJ em relação à amplitude de movimento limitada, tendo verificado ausências de diferença significativa na análise rotacional dos membros inferiores com e sem ATJ (Maier et al., 2019).

Considerando a análise dos resultados, a força muscular é um fator essencial para um bom desempenho das capacidades funcionais do indivíduo. Sem um plano de fortalecimento muscular, o défice de força pode atingir os 50 a 60% após a ATJ (Luthi et al., 2015). Os objetivos da reabilitação no pós-operatório consistem no alívio da dor, na recuperação da amplitude de movimento articular, na melhoria da extensão da articulação do joelho, no fortalecimento muscular, na melhoria da mobilidade e da coordenação e o aumento da propriocepção (Ioshitake et al., 2016). Recomenda-se, a fim de melhorar as assimetrias, que o participante realize, com supervisão de um técnico de exercício físico: (i) exercícios de contrações isométricas dos glúteos, quadríceps e isquiotibiais; (ii) exercícios de elevação da cintura pélvica com extensão do membro intervencionado; (iii) exercícios isotónicos ativos-livres de flexão/extensão do joelho e da articulação coxofemoral do membro intervencionado, sentado ou na posição de pé com apoio; (iv) exercícios de propriocepção (Sousa & Carvalho, 2017).

5 CONCLUSÃO

As principais conclusões deste estudo foram: (i) o plano com melhor coordenação motora foi o plano sagital, no qual ocorre a flexão e extensão da perna, (ii) no plano frontal, verificou-se uma menor coordenação motora da perna sem ATJ, (iii) verificou-se uma menor rotação externa do pé esquerdo, o que pode indicar uma menor estabilização da coxo-femoral.

Apesar do crescente número de estudos que utilizam a análise da marcha em pacientes com ATJ, verifica-se a necessidade de realizar mais investigação nesta temática devido ao baixo número de pacientes incluídos nos estudos publicados, o que impossibilita a generalização das conclusões.

O presente estudo evidencia não só a importância mas também a praticabilidade da utilização de uma aplicação em *smartphone* na análise da marcha. Esta metodologia permitiu uma recolha rápida, com poucos instrumentos, a qual concedeu a capacidade de análise e recomendação de futura intervenção individualizada. A possibilidade de análise e prescrição individualizada revelou-

se assim como uma mais-valia desta metodologia, a qual deverá ser explorada nos presentes resultados, bem como em futuros estudos. Relativamente ao participante em análise recomenda-se a realização exercícios de reforço muscular e propriocepção, de forma a melhorar a coordenação motora durante a marcha e impedir a convergência dos músculos agonistas e antagonista do movimento. Em estudos futuros, recomenda-se ainda a comparação da marcha do paciente submetido a intervenção de ATJ antes e após a cirurgia.

6 REFERÊNCIAS

- Beck, O. N., Azua, E. N., & Grabowski, A. M. (2018). Step time asymmetry increases metabolic energy expenditure during running. *European Journal of Applied Physiology*, 118(10), 2147–2154. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-3939-3>
- Bernstein, N. (1966). The co-ordination and regulation of movements. The co-ordination and regulation of movements. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1571698599600323072>
- Camomilla, V., Bergamini, E., Fantozzi, S., & Vannozzi, G. (2018). Trends Supporting the In-Field Use of Wearable Inertial Sensors for Sport Performance Evaluation: A Systematic Review. *Sensors*, 18(3), Artigo 3. <https://doi.org/10.3390/s18030873>
- Crowther, R. G., Spinks, W. L., Leicht, A. S., Quigley, F., & Gollidge, J. (2008). Intralimb coordination variability in peripheral arterial disease. *Clinical Biomechanics*, 23(3), 357–364. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2007.10.009>
- Fuchs, S., FLÖREN, M., SKWARA, A., & TIBESKU, C. O. (2002). Quantitative gait analysis in unconstrained total knee arthroplasty patients. *International Journal of Rehabilitation Research*, 25(1). https://journals.lww.com/intjrehabilres/Fulltext/2002/03000/Quantitative_gait_analysis_in_unconstrained_total.10.aspx
- Harris, G. F., & Wertsch, J. J. (1994). Procedures for gait analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 75(2), 216–225. [https://doi.org/10.1016/0003-9993\(94\)90399-9](https://doi.org/10.1016/0003-9993(94)90399-9)
- Hatfield, G. L., Hubley-Kozey, C. L., Astephen Wilson, J. L., & Dunbar, M. J. (2011). The Effect of Total Knee Arthroplasty on Knee Joint Kinematics and Kinetics During Gait. *The Journal of Arthroplasty*, 26(2), 309–318. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2010.03.021>
- Heiderscheit, B. C., Hamill, J., & Emmerik, R. E. A. van. (2002). Variability of Stride Characteristics and Joint Coordination among Individuals with Unilateral Patellofemoral Pain. *Journal of Applied Biomechanics*, 18(2), 110–121. <https://doi.org/10.1123/jab.18.2.110>
- Heinlein, B., Kutzner, I., Graichen, F., Bender, A., Rohlmann, A., Halder, A. M., Beier, A., & Bergmann, G. (2009). ESB clinical biomechanics award 2008: Complete data of total knee replacement loading for level walking and stair climbing measured in vivo with a follow-up of 6–10 months. *Clinical Biomechanics*, 24(4), 315–326. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2009.01.011>
- Howell, D. R., Lugade, V., Taksir, M., & Meehan, W. P. (2020). Determining the utility of a smartphone-based gait evaluation for possible use in concussion management. *The Physician and Sportsmedicine*, 48(1), 75–80. <https://doi.org/10.1080/00913847.2019.1632155>
- Ioshitake, F. A. C. B., Mendes, D. E., Rossi, M. F., & Rodrigues, C. D. A. (2016). Reabilitação de pacientes submetidos à artroplastia total de joelho: Revisão de literatura. *Revista da Faculdade de Ciências Médicas de Sorocaba*, 18(1), 11–14. <https://doi.org/10.5327/Z1984-4840201623374>
- Judd, D. L., Eckhoff, D. G., & Stevens-Lapsley, J. (2012). Muscle Strength Loss in the Lower Extremity Following Total Knee Arthroplasty. *American journal of physical medicine & rehabilitation / Association of Academic Physiatrists*, 91(3), 220–230. <https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e3182411e49>

- Kirschberg, J., Goralski, S., Layher, F., Sander, K., & Matziolis, G. (2018). Normalized gait analysis parameters are closely related to patient-reported outcome measures after total knee arthroplasty. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 138(5), 711–717. <https://doi.org/10.1007/s00402-018-2891-3>
- Kodesh, E., Kafri, M., Dar, G., & Dickstein, R. (2012). Walking speed, unilateral leg loading, and step symmetry in young adults. *Gait & Posture*, 35(1), 66–69. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.08.008>
- Latash, M. L. (2008). *Synergy*. Oxford University Press.
- Luthi, F., Pereira, L. C., & Jolles, B. M. (2015). Os 12 pontos-chave da reabilitação após artroplastia total do joelho. *Revista da Sociedade Brasileira de Clínica Médica*, 13(4), Artigo 4.
- Maier, M. W., Aschauer, S., Wolf, S. I., Dreher, T., Merle, C., & Bitsch, R. G. (2019). Three dimensional gait analysis in patients with symptomatic component mal-rotation after total knee arthroplasty. *International Orthopaedics*, 43(6), 1371–1378. <https://doi.org/10.1007/s00264-018-4118-1>
- Milner, C. E. (2009). Is gait normal after total knee arthroplasty? Systematic review of the literature. *Journal of Orthopaedic Science*, 14(1), 114–120. <https://doi.org/10.1007/s00776-008-1285-8>
- Ottoboni, C., Fontes, S. V., & Fukujima, M. M. (2002). Estudo Comparativo entre a Marcha Normal e a de Pacientes Hemiparéticos por Acidente Vascular Encefálico: Aspectos Biomecânicos. *Revista Neurociências*, 10(1), Artigo 1. <https://doi.org/10.34024/rnc.2002.v10.8904>
- Pelegrielli, A. R. M., Kowalski, E., Ryan, N. S., Moura, F. A., & Lamontagne, M. (2022). Lower limb inter-joint coordination in individuals with osteoarthritis before and after a total knee arthroplasty. *Clinical Biomechanics*, 100, 105806. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2022.105806>
- Pincivero, D. M., Heller, B. M., & Hou, S.-I. (2002). The effects of ACL injury on quadriceps and hamstring torque, work and power. *Journal of Sports Sciences*, 20(9), 689–696. <https://doi.org/10.1080/026404102320219392>
- Registo Português de Artroplastias. (2010). R.P.A - Hospitais / Estatísticas. <http://www.rpa.spot.pt/Main-Sections/Hospitals.aspx>
- Saari, T., Tranberg, R., Zügner, R., Uvehhammer, J., & Kärrholm, J. (2005). Changed gait pattern in patients with total knee arthroplasty but minimal influence of tibial insert design. *Acta Orthopaedica*, 76(2), 253–260. <https://doi.org/10.1080/00016470510030661>
- Seifert, L., Leblanc, H., Chollet, D., & Delignières, D. (2010). Inter-limb coordination in swimming: Effect of speed and skill level. *Human Movement Science*, 29(1), 103–113. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2009.05.003>
- Silsupadol, P., Teja, K., & Lugade, V. (2017). Reliability and validity of a smartphone-based assessment of gait parameters across walking speed and smartphone locations: Body, bag, belt, hand, and pocket. *Gait & Posture*, 58, 516–522. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.09.030>
- Sousa, L. M. M., & Carvalho, L. (2017). Pessoa com osteoartrose na anca e joelho em contexto de internamento e ortopedia. <http://repositorio-cientifico.ualantica.pt/handle/10884/1067>
- Tibesku, C. O., Daniilidis, K., Skwara, A., Dierkes, T., Rosenbaum, D., & Fuchs-Winkelmann, S. (2011). Gait analysis and electromyography in fixed- and mobile-bearing total knee replacement: A prospective, comparative study. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 19(12), 2052–2059. <https://doi.org/10.1007/s00167-011-1540-y>
- Todorov, E., & Jordan, M. I. (2002). Optimal feedback control as a theory of motor coordination. *Nature Neuroscience*, 5(11), Artigo 11. <https://doi.org/10.1038/nn963>
- Vahtrik, D., Gapeyeva, H., Aibast, H., Ereline, J., Kums, T., Haviko, T., Märtson, A., Schneider, G., & Pääsuke, M. (2012). Quadriceps femoris muscle function prior and after total knee arthroplasty in women with knee osteoarthritis. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 20(10), 2017–2025. <https://doi.org/10.1007/s00167-011-1808-2>

- Valtonen, A., Pöyhönen, T., Heinonen, A., & Sipilä, S. (2009). Muscle Deficits Persist After Unilateral Knee Replacement and Have Implications for Rehabilitation. *Physical Therapy*, 89(10), 1072–1079. <https://doi.org/10.2522/ptj.20070295>
- van den Akker-Scheek, I., Stevens, M., Bulstra, S. K., Groothoff, J. W., van Horn, J. R., & Zijlstra, W. (2007). Recovery of Gait After Short-Stay Total Hip Arthroplasty. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 88(3), 361–367. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2006.11.026>
- Van der Bracht, H., Van Maele, G., Verdonk, P., Almqvist, K. F., Verdonk, R., & Freeman, M. (2010). Is there any superiority in the clinical outcome of mobile-bearing knee prosthesis designs compared to fixed-bearing total knee prosthesis designs in the treatment of osteoarthritis of the knee joint? *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 18(3), 367–374. <https://doi.org/10.1007/s00167-009-0973-z>
- VanPutte, C., Regan, J., & Russo, A. (2016). *Anatomia e Fisiologia de Seeley—10a Edição*. McGraw Hill Brasil.
- Wang, Y., Qie, S., Li, Y., Yan, S., Zeng, J., & Zhang, K. (2022). Intersegmental Coordination in Patients With Total Knee Arthroplasty During Walking. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.839909>