



FACULTAT
**DE CIÈNCIES
I TECNOLOGIA**

UVIC | UVIC·UCC

Treball de Fi de Grau

*Disseny d'un protocol d'estudi del patró
cinètic i cinemàtic de la inestabilitat del
genoll en la prova de baixada de graons*

Mariona Saez Santacreu

Grau en Enginyeria Biomèdica

Tutor/a: Moisès Serra Serra

Vic, juny de 2019

*“Als meus pares i la meva germana
a tots els meus amics,
als metges rehabilitadors i a tot el personal de la clínica MC mutual,
als professors que m’han ajudat a tirar endavant el projecte,
gràcies a tots per recolzar-me en aquest procés i donar-me suport en tot moment”.*

RESUM TREBALL FINAL DE GRAU GRAU EN ENGINYERIA BIOMÈDICA

Títol: Disseny d'un protocol d'estudi del patró cinètic i cinemàtic de la inestabilitat del genoll en la prova de baixada de graons.

Paraules clau: genoll, inestabilitat, cinètica, cinemàtica, baixada de graons.

Autora: Mariona Saez Santacreu

Tutores: Moisès Serra Serra

Data: Juny de 2019

L'anàlisi de la marxa és un dels estudis més freqüents en l'àmbit de la biomecànica. Aquest, es pot aplicar a diferents camps d'estudi com per exemple la inestabilitat de genoll mitjançant la baixada de graons.

L'objectiu principal del treball és crear un protocol per observar la inestabilitat de genoll provocada per lesions lligamentoses mitjançant tècniques cinètiques i cinemàtiques.

Els instruments que s'han utilitzat per realitzar la prova són una escala de tres graons, sis càmeres infraroges de captura de moviment per l'estudi cinemàtic i una plataforma dinamomètrica de forces col·locada davant els graons per l'estudi cinètic.

Abans de realitzar la prova, tots els pacients han sigut sotmesos a una sèrie d'exploracions i test clínics per part d'un traumatòleg. A continuació, els individus han de signar un consentiment informat i es procedeix a la col·locació de marcadors seguint el model Helen Hayes. Per l'estudi cinemàtic, el pacient haurà de baixar els graons un total de 8 vegades: quatre vegades començant amb l'extremitat sana i quatre amb la contra-lateral. Un cop a terra, el pacient haurà de caminar unes 5 passes. Per l'estudi cinètic, el pacient només haurà de baixar els graons dues vegades començant amb la cama sana i dues amb l'afectada.

L'anàlisi de dades pretén determinar quins són els paràmetres més rellevants de l'estudi. A nivell cinemàtic, aquests són la fase de contacte inicial del peu, l'enlairament i la velocitat angular instants abans del contacte inicial del peu i la força $Fz2$ i el paràmetre bn , a nivell cinètic.

L'objectiu principal de la prova s'ha assolit amb èxit. S'ha dissenyat un protocol que serà útil per la clínica MC Mutual Copèrnic. A més, s'ha observat que el patró de marxa de l'extremitat afectada varia respecte l'extremitat sana. Això pot ser degut a inseguretat, dolor i/o, fins i tot, por o respecte. Les conclusions que s'han extret del treball són la importància de la revisió bibliogràfica, la realització d'una metodologia entenedora és essencial i la necessitat d'escollir la instrumentació i les dades d'estudi adients.

DEGREE FINAL PROJECT SUMMARY DEGREE IN BIOMEDICAL ENGINEERING

Title: Disseny d'un protocol d'estudi del patró cinètic i cinemàtic de la inestabilitat del genoll en la prova de baixada de graons.

Key words : knee, instability, kinematics, kinetics, stair descend.

Author: Mariona Saez Santacreu

Tutor: Moisès Serra Serra

Date: Juny de 2019

Gait analysis is one of the most frequent study on the field of biomechanics. This analysis can be applied to different fields such as the study of knee instability.

The principal objective of this project is to create a protocol to observe knee instability caused by ligament injuries with the help of kinematics and kinetics techniques.

The instruments that have been used for the experiment are three steps, six infrared motion capture cameras and a dynamometric force plate placed in front of the steps.

Before doing the experiment, every subject has been explored by an orthopaedic surgeon and have given their written consent of participation in the study. The next step is to place the reflective markers into the landmarks of the lower limb following Helen Hayes' model. For the kinematic study, patients will have to descend the three steps eight times: four times starting with the healthy lower limb and four more times starting with the injured one. Once in the floor, the subject will walk at least five strides. To do the kinematic study, patients will have to descend the steps two times starting with the healthy lower limb and two more with the injured one.

Data analysis is used to decide which of the parameters are the most relevant of the study. Initial foot contact and take off, angular velocity before the foot contact, Fz2 force and bn parameter are the ones that gives more information about knee instability.

The main objectives of the project has been accomplished successfully. A useful protocol for MC Mutual Copèrnic's clinic has been designed. Moreover, the results of the experiment reveal that gait pattern of the injured lower limb is modified. This might be caused by insecurity, pain or even fear. The conclusions that have been obtained are the importance of the literature review, the creation of a clear methodology and the significance of choosing the instrumentation and the data that has to be analysed.

Taula de continguts

1.	Estat de l'art.....	7
2.	Introducció.....	9
2.1.	Objectius principals	11
3.	Anatomia i fisiologia del genoll	12
3.1.	Articulació	12
3.2.	Desplaçaments laterals del genoll.....	13
3.3.	Moviments de flexió extensió	13
3.4.	Rotació axial del genoll	14
3.5.	Mecanismes estabilitzadors	14
4.	Marxa i biomecànica del genoll.....	17
4.1.	Baixada de graó i biomecànica de genoll	19
4.2.	Cinètica de la marxa normal i en la baixada de graó.....	19
5.	Procediment experimental.....	21
5.1.	Instrumentació	21
5.2.	Pacients.....	25
5.3.	Metodologia	26
5.4.	Anàlisi de dades	31
6.	Resultats	38
7.	Conclusions	39
7.1.	Problemes i possibles millores	40
8.	Referències	41
9.	Annexes	44
9.1.	Annex 1	44

9.2.	Annex 2	44
9.3.	Annex 3	46
9.4.	Annex 4	47

1. Estat de l'art

L'estudi de la biomecànica humana es remunta al segle XVII quan, gràcies als descobriments mecànics de Galileo i Newton, es va donar un enfoc mecànic a moviments de l'ésser humà (Sánchez Lacuesta, J., Prat, J., Hoyos, J., Viosca, E., Soler Gracia, C., Comín, M.,... Vera, 1993).

El primer document sobre el moviment humà va ser escrit per Borelli. L'any 1836 els germans Weber van fer el primer treball sobre l'anàlisi mecànic de la passa humana. Tot i això, no va ser fins fa poc més de 100 anys que es va començar a estudiar el cicle de marxa. Les tècniques fotogràfiques per l'estudi de la marxa van aparèixer el 1873 de la mà de Marey, que l'any 1894 també va descriure la plataforma dinamomètrica. A partir d'aleshores, altres científics van buscar la manera de calcular paràmetres com les pressions efectuades al caminar, la longitud de la passa, etc. fins que al 1895 Braune i Fischer van calcular la velocitat i l'acceleració d'alguns segments del cos durant la marxa. L'any 1900 Ducroquet va fer el primer estudi de la marxa normal i les seves diverses patologies. L'activitat muscular durant la marxa també era objecte d'estudi i per això es van començar a estudiar els sistemes d'electromiografia (Sánchez Lacuesta, J., Prat, J., Hoyos, J., Viosca, E., Soler Gracia, C., Comín, M.,... Vera, 1993).

Els primers laboratoris de biomecànica van aparèixer després de la II Guerra Mundial, on es van fer millores dels sistemes que hi havia antigament i que encara són utilitzats a dia d'avui.

Actualment, les tècnica per l'anàlisi de marxa segueixen essent la cinètica i la cinemàtica, tot i que també hi ha molts estudis sobre l'activació muscular mitjançant l'electromiografia de superfície (EMG) (Mcfadyen and Winter, 1988; Busch *et al.*, 2019) (Studies, 2002).

Els especialistes en biomecànica, però, no en tenien prou amb la marxa i es van veure amb la necessitat de crear protocols per a l'estudi d'altres articulacions com l'espatlla, el colze, etc. Pel que fa al genoll, no els interessava només la força isocinètica que podia generar, sinó que també volien estudiar la cinètica i la cinemàtica d'aquest per tal d'estudiar la seva inestabilitat.

Aquest estudis van des d'analitzar el genoll durant la marxa (Georgoulis and Papadonikolakis, 2003; Alkjær, Henriksen and Simonsen, 2011) fins a realitzar el mateix estudi baixant graons. Pel que fa a la marxa, podem trobar diverses variants com per exemple utilitzar una cinta de córrer o analitzar el moviment de l'articulació en pujades o baixades (Telhan *et al.*, 2010). Pel graó, que és l'objecte d'estudi d'aquest treball, trobem variacions en el número de graons i l'alçada d'aquest. El 1988 Bradford J. McFadyen va executar aquesta prova amb 5 graons per així simular dos cicles de marxa complert (Mcfadyen and Winter, 1988). Altres articles més moderns, creuen innecessaris tants graons i opten per construir-ne només 3 i així simular només un cicle de marxa (Ristanis *et al.*, 2003; Grenholm, Stensdotter and Häger-ross, 2009). Fins i tot, n'hi ha d'altres que prefereixen utilitzar un únic graó (Studies, 2002).

La majoria d'autors coincideixen en els paràmetres a analitzar. A nivell cinemàtic s'estudia la cadència, la velocitat angular durant la flexió de genoll (Grenholm, Stensdotter and Häger-ross, 2009) i la velocitat de la marxa (Georgoulis and Papadonikolakis, 2003). També es contemplen els paràmetres de mobilitat articular quan a flexió, adducció i rotació externa de maluc; flexió, varus i rotació del genoll; flexió dorsal i flexió plantar del turmell (Grenholm, Stensdotter and Häger-ross, 2009). Una altra variable molt estudiada és la rotació tibial (Studies, 2002). Normalment aquests paràmetres s'analitzen en les diferents fases de la baixada de graó (Georgoulis and Papadonikolakis, 2003).

Pel que fa a la cinètica, les variables d'estudi són els pics de força de les articulacions esmentades anteriorment (Stacoff *et al.*, 2005; Telhan *et al.*, 2010; Bohn *et al.*, 2016) però algun autors també estudien forces que actuen a les articulacions: força de compressió i de cisallament (Alkjær, Henriksen and Simonsen, 2011). Hi ha altres autors que no els interessa només una baixada de graó sinó que afegeixen un moviment de rotació de 90° sobre la cama que contacta primer el terra per tal de mesurar la rotació tibial i posar de manifest possibles inestabilitats del genoll (Ristanis *et al.*, 2003).

Una de les coses comunes entre tots els estudis és que els resultats de les proves obtinguts amb l'extremitat inferior afectada es comparen amb els de l'extremitat

contra-lateral (Studies, 2002; Stacoff *et al.*, 2005; Papagiannis *et al.*, 2018; Busch *et al.*, 2019). A vegades, per aportar més exactitud a l'estudi, també s'utilitza un grup control i es busquen les diferències entre tots els grups que participen a l'estudi (Grenholm, Stensdotter and Häger-ross, 2009; Alkjær, Henriksen and Simonsen, 2011). Tots els autors també coincideixen en fer mesures antropomètriques de les extremitats inferiors i en realitzar tests clínics prèviament a la prova per avaluar el grau d'instabilitat del genoll (Georgoulis and Papadonikolakis, 2003; Ristanis *et al.*, 2003; Grenholm, Stensdotter and Häger-ross, 2009; Papagiannis *et al.*, 2018). Finalment, l'experiment es realitza entre tres i deu cops, per captar suficient dades i donar més validesa a l'estudi (Georgoulis and Papadonikolakis, 2003; Stacoff *et al.*, 2005; Papagiannis *et al.*, 2018).

Normalment s'utilitzen un total de dues plataformes dinamomètriques, que es col·loquen sobre els graons (Mcfadyen and Winter, 1988; Stacoff *et al.*, 2005) i una quantitat de càmeres que sol ser entre 5 i 10 càmeres (Georgoulis and Papadonikolakis, 2003; Telhan *et al.*, 2010; Alkjær, Henriksen and Simonsen, 2011). La integració d'ambdues tecnologies és molt important per realitzar anàlisis biomecànics, doncs ens aporten informació diferent que es complementa en la valoració de la funcionalitat de les articulacions.

Els resultats són un apartat molt important en el tema de la recerca. En l'estudi d'instabilitat de genoll, la majoria d'articles asseguren que els pacients amb lesions lligamentoses de genoll tenen un patró de marxa diferent que els pacients sense lesions de genoll. Es creu que aquest comportament pot ser degut al dolor o a la inseguretat d'aquests individus (Studies, 2002; Alkjær, Henriksen and Simonsen, 2011; Fuentes *et al.*, 2011).

2. Introducció

L'enginyeria biomèdica és la branca de la enginyeria que aporta coneixements científics i tecnològics a les necessitats mèdiques i biològiques.

Dins l'enginyeria biomèdica, la biomecànica és una branca de l'enginyeria biomèdica molt important, ja que ens permet entendre el funcionament del cos humà

a nivell de moviments. Poder analitzar les articulacions del nostre cos i el seu moviment determinat ajuda a reduir lesions i a recuperar-se d'elles.

L'anàlisi de la marxa és un dels estudis més freqüents en l'àmbit de la biomecànica. El que es pretén amb aquests és determinar com camina l'ésser humà a nivell cinemàtic i cinètic. La cinemàtica és la branca de la biomecànica que estudia els moviments de l'ésser humà mentre que la cinètica és la branca que estudia les forces necessàries per generar aquests moviments.

Després d'haver estat un mes i mig fent pràctiques al laboratori de biomecànica de la clínica MC Mutual Copèrnic on es realitzen valoracions biomecàniques diàriament, m'he adonat que aquests anàlisis idealment s'han de dur a terme de forma multidisciplinària entre metges i enginyers biomèdics. L'enginyer, no només és útil en la realització de les proves, sinó en entendre el funcionament dels aparells que s'utilitzen i així poder analitzar els resultats obtinguts des d'una altra perspectiva. La captura i el tractament acurat de les dades és essencial per obtenir uns resultats fiables i les persones amb formació tècnica específica són les més adequades per realitzar aquestes tasques. També són peces clau en la investigació de nous protocols d'estudi i el desenvolupament d'aparells electrònics que compleixin les necessitats i requeriments dels especialistes mèdics.

L'objecte d'estudi del treball se centra en les lesions lligamentoses del genoll. Aquestes lesions, són molt freqüents en esportistes però també afecten a la població general. La lesió té un llarg període de recuperació que moltes vegades deixa seqüeles en forma de dolor i posterior desgast de l'articulació. D'aquí neix el meu interès per crear un protocol per estudiar la inestabilitat de genoll que provoca aquesta lesió. Aquest interès també va lligat a la necessitat de la clínica de disposar d'un estudi específic del genoll.

Així doncs, el que es mostra a continuació és un protocol d'estudi centrat en la cinètica i cinemàtica del genoll en la baixada de graons amb pacients que han patit una ruptura de lligament creuat anterior. La instrumentació que s'utilitza és una plataforma dinamomètrica de forces i un total de sis càmeres infraroges de captura de moviment. Els participants hauran de baixar vuit vegades una escala de tres graons,

quatre vegades començant amb la cama sana i quatre amb l'afectada per l'estudi cinemàtic i hauran de fer quatre repeticions més per l'estudi cinètic.

El treball està organitzat de la següent manera: en primer lloc trobem un resum que ens explica de què tracta el treball i una tala de continguts que ens permet veure l'estructura del treball. A continuació, l'estat de l'art i la introducció ens posen en context del que s'ha fet fins ara en l'àmbit de la biomecànica i s'exposen els objectius del treball. Pel que fa al marc teòric, trobem un apartat d'anatomia i fisiologia del genoll i un de marxa i biomecànica. L'estudi experimental consta de diferents apartats que permeten l'execució de la prova. Aquest, està dividit en instrumentació, on es parla de les tecnologies aplicades; pacients, on s'explica els criteris d'inclusió i exclusió que es tindran en compte a l'hora de triar els pacients; metodologia, on trobem els apartats d'exploració física i tests clínics, preparació del pacient i execució de la prova; i, finalment, anàlisi de dades que ens permetrà observar les diferències principals entre el patró de marxa del l'extremitat afectada respecte la sana. Els apartats de resultats i conclusions ens serveixen per concloure l'estudi. El que es pretén amb aquests és determinar si el protocol és vàlid per aplicar-se a la clínica MC Mutual Copèrnic i per analitzar els problemes i les possibles millores que es podrien aplicar en un futur. El treball també té un apartat de referències on s'indica la bibliografia que s'ha utilitzar per efectuar el treball i uns annexs on trobem documents com el full informatiu i el consentiment informat que han signat els pacients.

2.1. Objectius principals

L'objectiu principal del treball és crear un protocol per valorar la funcionalitat del genoll mitjançant tècniques cinètiques i cinemàtiques. Aquest protocol ha de satisfer les necessitats de la clínica MC Mutual Copèrnic, perquè pugui ser aplicat a partir d'ara.

Per poder determinar si el protocol és fiable i es pot aplicar, cal realitzar un anàlisi de dades acurat. Aquest ens permetrà determinar quins són els paràmetres més rellevants per l'estudi i comparar-los breument amb la bibliografia trobada.

2.1.1. Objectius específics

El treball té un objectiu molt clar, valorar la funcionalitat del genoll. No obstant això, específicament el treball hauria de complir els següents objectius que només es podran assolir després de realitzar una bona revisió bibliogràfica:

- Seleccionar la instrumentació que serà necessària per l'execució de la prova.
- Dissenyar una metodologia entenedora per la realització de l'experiment.
- Escollir quins són els paràmetres d'estudi rellevants pel treball, és a dir, que ens aportaran informació sobre la inestabilitat i dolor de l'articulació.
- Realitzar un bon tractament de dades, és a dir, saber dividir les diferents parts del cicle de marxa en la baixada de graó i obtenir els valors útils per a l'estudi.

3. Anatomia i fisiologia del genoll

El genoll és l'articulació intermitja de les extremitats inferiors. Els moviments principals que pot fer són de flexió i extensió. Si l'individu es troba dret, el moviment de flexió és aquell que allunya l'extremitat del terra mentre que el moviment d'extensió l'apropa. De manera accessòria, quan l'articulació està en flexió també es pot executar un moviment de rotació sobre l'eix longitudinal de la cama (I.A. Kapandji, 2006).

Les funcions del genoll són de mobilitat, quan el genoll està en flexió, i d'estabilitat quan el genoll es troba en extensió màxima. A més, també pot transmetre càrregues (Rierola Colomer, 2017).

3.1. Articulació

Anatòmicament, el genoll és una articulació bicondília és a dir, permet els moviments de flexo-extensió, rotació axial i desplaçaments laterals entre els còndils femorals i els platets tibials. A nivell mecànic, el genoll es comporta com una articulació troclear entre la tròclea femoral i la ròtula. Aquesta articulació permet el moviment de flexo-extensió.

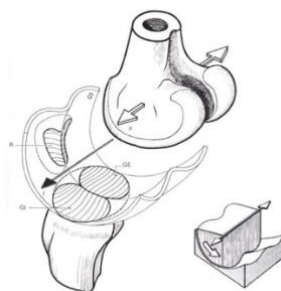


Figura 1. Articulació troclear des d'un punt de vista mecànic. Extret de "Cuaderno de fisiología articular".

3.2. Desplaçaments laterals del genoll

A nivell d'alineació frontal, el genoll pot presentar genu varum o genu valgum. El genu varum (2) es caracteritza per què el centre de l'articulació està desplaçat cap a fora. En genu valgum (1), en canvi, és el desplaçament intern del genoll (I.A. Kapandji, 2006).

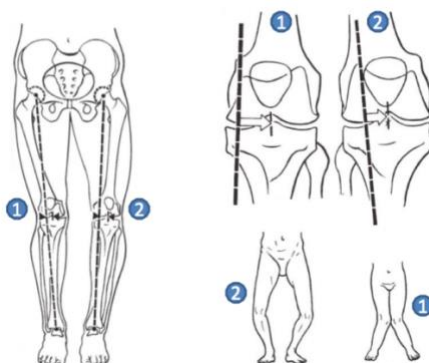


Figura 2. Desplaçaments laterals del genoll. Extret de "Cuaderno de fisiología articular".

3.3. Moviments de flexió extensió

La flexo-extensió és el moviment principal del genoll. L'extensió és el moviment que allunya la cara posterior de la cama de la cara posterior de la cuixa. El moviment d'extensió normal va dels 5º als 10º. La flexió és el moviment que apropa la cara posterior de la cama a la cara posterior de la cuixa. La flexió activa pot arribar a 140º si el maluc està flexionat i 120º si el maluc està en extensió. Per altra banda, el genoll pot arribar a 160º de flexió passiva (I.A. Kapandji, 2006).

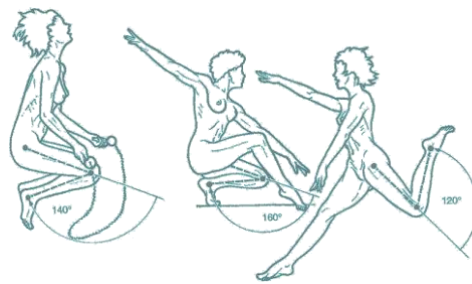


Figura 3. Flexió de genoll. Extret de “Cuaderno de fisiología articular”.

3.4. Rotació axial del genoll

La rotació de la cama respecte el seu eix longitudinal només es pot efectuar amb el genoll en flexió. La rotació interna es realitza quan la punta del peu va cap endins i arriba a un rang màxim de 30°. Contràriament, la rotació externa porta la punta del peu cap a fora i pot arribar als 40°.

Existeix també la rotació axial “automàtica” que pot ser interna quan el genoll es flexiona i externa quan el genoll fa extensió (I.A. Kapandji, 2006).

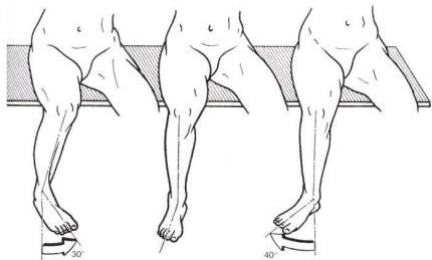


Figura 4. Rotació axial del genoll. Extret de “Cuaderno de fisiología articular”.

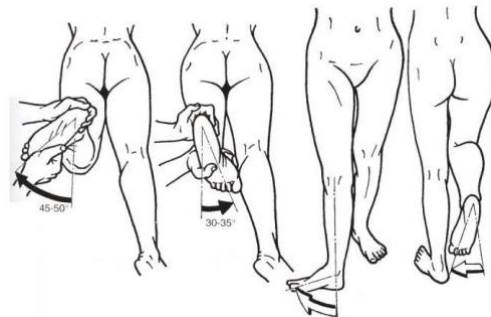


Figura 5. Rotació axial “automàtica” del genoll. Extret de “Cuaderno de fisiología articular”.

3.5. Mecanismes estabilitzadors

Els mecanismes estabilitzadors impedeixen que el genoll faci moviments estranys que podrien ser perjudicials per la seva correcta funcionalitat. A continuació es mostren els mecanismes més importants per a l'estudi, tot i que n'hi ha d'altres.

3.5.1. Lligaments laterals del genoll

Els lligaments laterals del genoll formen part dels mecanismes estabilitzadors, ja que reforcen la càpsula articular interna i externament i asseguren l'estabilitat lateral del genoll quan es troba en extensió. Trobem dos lligaments laterals: el lligament lateral intern (LLI) i l'extern (LLE). El LLI va des de la cara cutània del còndil intern fins a l'extrem superior de la tibia i estabilitza l'extensió, el genu valgum i la rotació externa. El LLE s'estén des de la cara cutània del còndil extern fins al cap del peroné i controla l'extensió, el genu varum i la rotació externa (I.A. Kapandji, 2006).

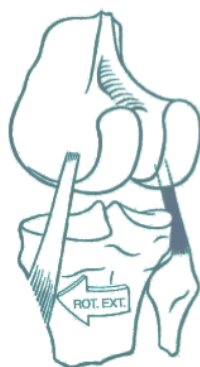


Figura 6. Lligaments laterals. Extret de “Cuaderno de fisiología articular”.

3.5.2. Lligaments creuats del genoll

Els lligaments creuats es troben al centre de l'articulació. El lligament creuat anterior (LCA) neix a la superfície preespinal i acaba al còndil extern. Té una trajectòria obliqua cap a dalt, enrere i cap a fora. Aquest, és més anterior a la tibia i més extern al fèmur i està format per tres fascicles: fascicle antero-intern, el més llarg i el que més traumatismes pot rebre; fascicle postero-extern, està amagat pel fascicle antero-intern i resisteix ruptures parcials; fascicle intermig. Per altra banda, el lligament creuat posterior (LCP) es troba des de la superfície retro-espinal fins el còndil extern. Té una trajectòria obliqua cap a davant, endins i amunt. Aquest, és més posterior a la tibia i més intern al fèmur i està format per quatre fascicles: fascicle postero-extern, més posterior sobre la tibia i més extern sobre el fèmur; fascicle antero-intern, més anterior sobre la tibia i més intern sobre el fèmur; fascicle anterior de Humphrey, inconstant; fascicle meniscofemoral de Wrisberg (Rierola Colomer, 2017).

Els lligaments creuats són mecanismes estabilitzadors perquè assegurin una estabilitat antero-posterior del genoll (I.A. Kapandji, 2006). El lligament creuat posterior es tensa en flexió i controla el desplaçament posterior de la tibia, mentre que el lligament creuat anterior es tensa en extensió i impedeix la hiperextensió i el desplaçament anterior de la tibia (Cailliet, 2006).

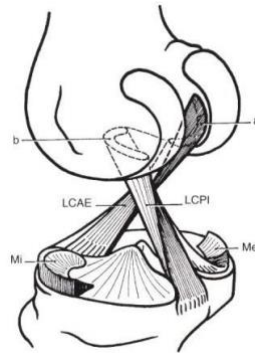


Figura 7. Lligaments creuats. Extret de “Cuaderno de fisiología articular”.

3.5.3. Músculs

3.5.3.1. Quàdriceps

El quàdriceps és un múscul extensor del genoll que és molt potent. Està format per quatre cossos musculars: crural, vast extern, vast intern i recte anterior. Els tres primers són músculs monoarticulars i només són extensors mentre que l'últim és biarticular i no només és extensor del genoll, sinó que també és flexor del maluc (Rierola Colomer, 2017).

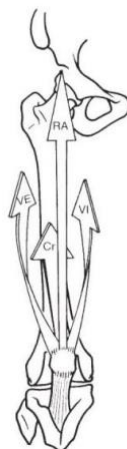


Figura 8. Múscul quàdriceps. Extret de “Cuaderno de fisiología articular”.

3.5.3.2. Músculs isquiotibials

Els músculs isquiotibials són flexors de genoll. Estan formats per quatre músculs: bíceps femoral, recte intern, semitendinós i semimembranós. A part de la seva funció flexora, el bíceps femoral també controla l'extensió i la rotació externa. El recte intern i el semi-tendinós controlen la rotació interna. El semi-membranós, en canvi, és rotador intern i controla l'extensió (Rierola Colomer, 2017).

3.5.3.3. Altra musculatura flexora i extensora

Tot i que la musculatura estabilitzadora més important s'ha explicat en apartats anteriors, no s'han d'oblidar altres músculs que contribueixen activament en l'estabilització del genoll. Un exemple d'aquest és el popliti, que controla la flexió sobretot quan hi ha rotació interna del genoll. Per altra banda, el sartori s'encarrega d'estabilitzar la rotació interna i la flexió. El tensor de la fàscia lata, en canvi, és un múscul extensor i controla la rotació externa només quan el genoll està flexionat.

4. Marxa i biomecànica del genoll

El cicle de marxa comença des de que un dels peus contacta amb el terra fins que aquest mateix hi torna a contactar. Durant un cicle de marxa complert, cada extremitat inferior passa per una fase de recolzament, on el peu està en contacte amb el terra, i per una fase d'oscil·lació, on el peu està a l'aire i es prepara pel següent recolzament. La fase de recolzament normalment representa el 60% del cicle de marxa i comprèn des del recolzament inicial del peu fins a la fase d'enlairament d'aquest. En canvi, la fase d'oscil·lació representa només el 40% del cicle de marxa i va des de l'enlairament del peu fins al següent recolzament (Sánchez Lacuesta, J., Prat, J., Hoyos, J., Viosca, E., Soler Gracia, C., Comín, M.,... Vera, 1993).

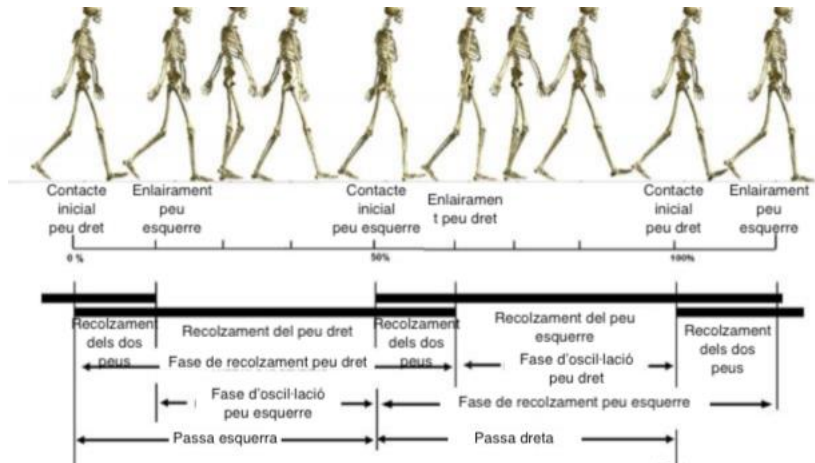


Figura 9. Cicle de la marxa. Figura modificada de

["http://marchakine.blogspot.com/2011/06/ciclo-de-la-marcha.html"](http://marchakine.blogspot.com/2011/06/ciclo-de-la-marcha.html).

Durant el cicle de marxa, el genoll té uns períodes de flexió i extensió determinats. El contacte inicial es realitza amb el genoll totalment en extensió i el turmell està en flexió dorsal. A mesura que ens aproximem a la fase de recolzament total, el genoll es va flexionant. Aquesta flexió augmenta quan la cama arriba a la fase d'enlairament i assoleix el seu màxim a la fase d'oscil·lació. D'aquesta manera, el peu no xoca contra el terra i es torna a preparar pel següent inici del recolzament del peu (Cailliet, 2006).

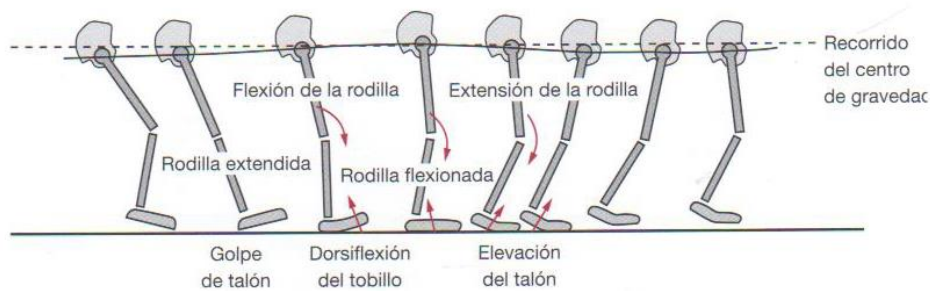


Figura 10. Flexió i extensió del genoll durant la marxa. Extret de "Anatomia funcional, biomecànica".

La rotació de la pelvis, el fèmur i la tibia és present en tot el cicle de marxa. Des de l'inici de fase d'oscil·lació fins a la fase de recolzament total, la rotació és interna. Arribat a aquest punt, la rotació comença a ser externa fins arribar a la fase d'elevació del peu (Cailliet, 2006).

4.1. Baixada de graó i biomecànica de genoll

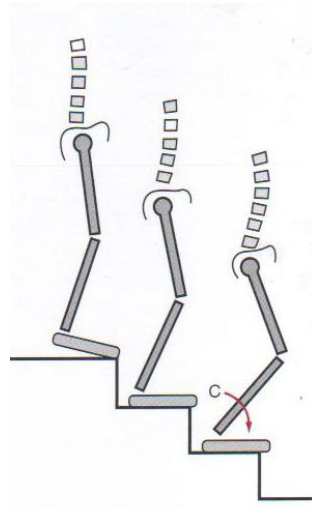


Figura 11. Baixada de graó. Extret de “Anatomia funcional, biomecànica”.

El cicle de marxa en la baixada de graó és pràcticament igual que el de la marxa normal. En aquest, també trobem una fase de recolzament i una d'oscil·lació. La fase de recolzament es divideix en tres subfases: contacte inicial del peu, que a diferència de la marxa normal es realitza amb la punta del peu i no amb el taló; recolzament total del peu i, finalment, enlairament del peu (Grenholm, Stensdotter and Häger-ross, 2009).

De la mateixa manera que s'estudia el genoll amb la marxa, també es fa durant la baixada de graons. En aquest cas, durant el primer contacte de la punta del peu el genoll es troba flexionat. La flexió augmenta a mesura que avança el cicle de marxa i arriba a ser màxima a la fase d'oscil·lació.

Les lesions o patologies que aporten més informació a l'estudi de marxa en baixada de graons i que han estat més analitzades pels investigadors són les patologies femoropatelars (Grenholm, Stensdotter and Häger-ross, 2009) i les lesions lligamentoses (Studies, 2002; Georgoulis and Papadonikolakis, 2003; Busch *et al.*, 2019).

4.2. Cinètica de la marxa normal i en la baixada de graó

Tal com s'ha esmentat anteriorment, la cinètica és l'estudi de les forces que permeten el moviment de les articulacions.

La majoria d'estudis cinètics de la marxa observen les forces de reacció vertical que es generen al trepitjar la plataforma dinamomètrica (Stacoff *et al.*, 2005; Telhan *et al.*, 2010). La corba que es genera a partir de les forces verticals d'una trepitjada d'un individu sa té forma de "M".

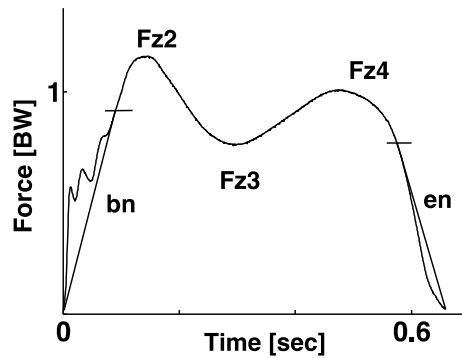


Figura 12. Corba de la cinètica d'un individu sa durant la marxa. Extret de "Ground reaction forces on stairs: effects of stair inclination and age".

El paràmetre "bn" representa la fase de recolzament, que va augmentant a mesura que s'arriba a la fase d'acceptació del pes. Fz2 és el pic màxim de la corba i mostra l'acceptació del pes. La variable Fz3 representa la descàrrega que es realitza durant la fase de mitja estança. La fase d'enlairament va marcada pel pic Fz4. El paràmetre "en" representa la descàrrega de forces de la fase d'enlairament del peu (Stacoff *et al.*, 2005).

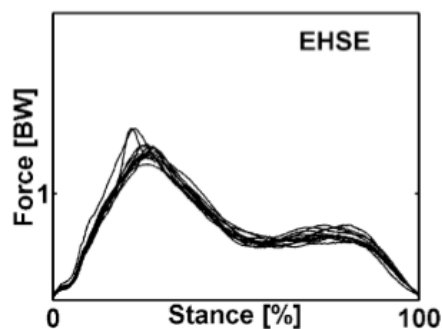


Figura 13. Corba de la cinètica d'un individu en la baixada de graons. Extret de "Ground reaction forces on stairs: effects of stair inclination and age".

Tal com s'observa a la figura 13, les unitats de les forces s'expressen en unitats de pes corporal, PC, i els paràmetres b_n i e_n s'expressen en unitats de PC dividit pel temps en segons.

5. Procediment experimental

El procediment experimental és l'apartat del treball que explica com realitzar la prova. És la part més interessant del treball, doncs al tractar-se d'un protocol és del tot necessari saber com efectuar l'experiment per obtenir resultats fiables.

5.1. Instrumentació

Aquest apartat tracta sobre la instrumentació elemental necessària per poder realitzar l'experiment correctament. Aquests són tres graons, càmeres infraroges de captura de moviment i una plataforma dinamomètrica de forces.

5.1.1. Graons

La baixada de graons implica un esforç, pel genoll, més elevat que la marxa normal. Aquesta activitat, posa en compromís l'articulació i permet observar dèficits que no s'observen en la marxa normal. És per aquest motiu, que s'ha decidit executar l'experiment amb graons.

La decisió de construir una escala de tres graons té molt a veure amb el cicle de marxa. Tal com s'ha explicat en apartats anteriors, el cicle de marxa comença amb el recolzament d'un peu a terra i acaba quan aquest mateix peu torna a contactar-hi. Si ens col·loquem al graó més alt i ens disposem a baixar tota l'escala, podem observar que realitzem un cicle de marxa complet al arribar al terra. A més, la majoria d'experiments trobats a la literatura també realitzen la prova amb tres graons (Ristanis *et al.*, 2003; Grenholm, Stensdotter and Häger-ross, 2009; Oh *et al.*, 2018).

Cada graó de l'escala mesura 17 cm d'alçada, 30 cm d'amplada i 60 cm de llargada. Aquestes especificacions tenen en compte l'article de Stacoff (Stacoff *et al.*, 2005), la normativa de construcció d'escales que té en compte les necessitats de les persones i també la distància entre el sostre del laboratori i el terra.

L'últim detall de l'escala que, a més, comparteixen tots els autors que han realitzats estudis similars és que l'escala no té barana (Grenholm, Stensdotter and Häger-ross, 2009; Oh *et al.*, 2018).



Figura 14 i 15. Graons. Font pròpia.

5.1.2. Càmeres infraroges

L'estudi cinemàtic de les articulacions es realitza mitjançant càmeres infraroges de captura de moviment. Actualment en el mercat, es poden trobar diferents marques de càmeres i empreses que les subministra (Grenholm, Stensdotter and Häger-ross, 2009; Telhan *et al.*, 2010; Alkjær, Henriksen and Simonsen, 2011). Per aquest estudi s'utilitzen les càmeres infraroges OptiTrack (NaturalPoint, Inc. DBA OptiTrack, U.S). Aquestes càmeres utilitzen el software de recol·lecció de dades de l'empresa STT Systems: Clinical 3DMA: Clinical Motion Analysis (versió 6.11, STT Systems, San Sebastián, España).

La captura de moviment registra els moviments com a seqüències de coordenades cartesianes a l'espai 3D. Mitjançant càmeres, aconseguim captar la posició específica de l'individu i els moviments que aquest realitza.

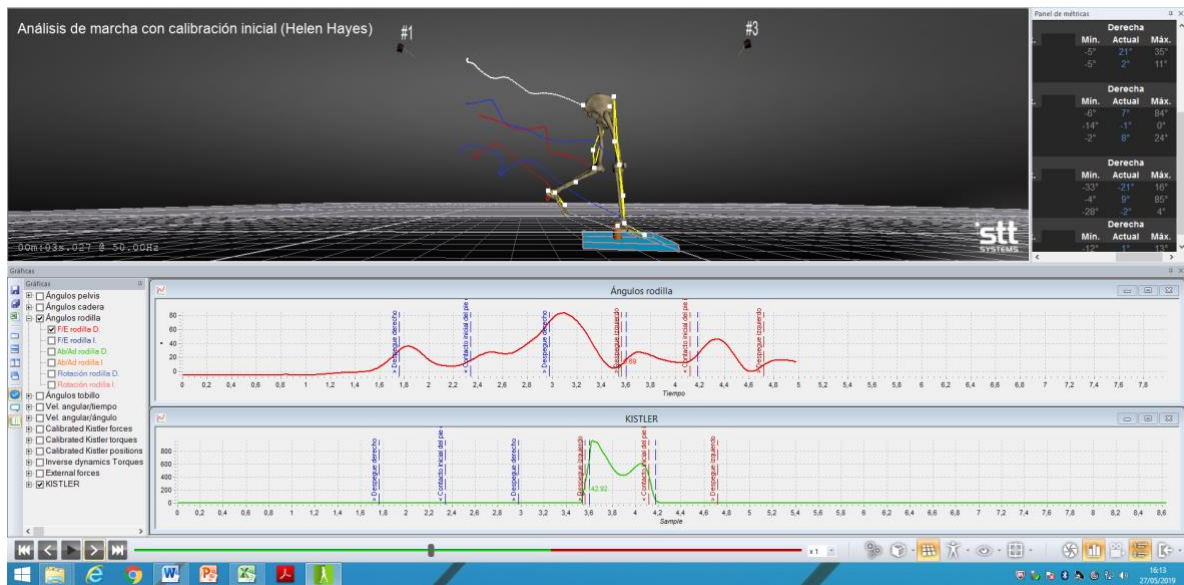


Figura 16. Visualització del software Clinical 3DMA. Font pròpia.

El laboratori té un sistema multicàmera, és a dir, les 10 càmeres integrades capten simultàniament i sincronitzadament els moviments del pacient. No obstant això, només 6 d'elles s'utilitzen en l'estudi. A més, aquesta tecnologia necessita un sistema de marcadors per poder mesurar les trajectòries d'aquest quan estan col·locats al cos del pacient (Guerra-filho, no date).



Figura 17. Càmera de captació de moviment OptiTrack. Font pròpia.



Figura 18. Laboratori de biomecànica de la clínica MC Mutual Copèrnic. Font pròpia.

El laboratori on es realitzen les captures de moviment ha de ser gran per poder integrar totes les càmeres amb espai suficient per captar el pacient des de molts punts de vista diferents sense que es solapin els marcadors. La il·luminació del laboratori també ha de ser específic, doncs la imatge ha de ser clara i sense ombres. A més, s'ha de tenir en compte que tots els objectes reflectants poden interferir en les captures efectuades i variar els resultats.

5.1.3. Plataforma dinamomètrica de forces

La plataforma dinamomètrica de forces ens permet calcular la cinètica de l'experiment. La plataforma que s'utilitza al laboratori és la Kistler Force Plate (Kistler Instrument Co., Winterthur, Suïssa) i té una dimensió de 50 cm d'amplada, 60 cm de llargada i 4,1 cm de gruix.



Figura 19. Plataforma dinamomètrica de forces. Font pròpia

Per calcular les forces, la plataforma porta integrats tres sensors piezoelèctrics de quars a cada una de les quatre potes que té.

L'efecte piezoelèctric consisteix en l'aparició d'una polarització elèctrica en un material quan aquest es deforma sota l'acció d'un esforç. És un efecte reversible, de manera que si se li aplica una tensió adequadament, el material es deforma. Aquest fenomen està relacionat amb l'estructura cristal·lina del material (Suriñach, 2018).

La plataforma es col·loca al terra davant de l'escala de tres graons i el software que s'utilitza per analitzar la corba de forces que es genera s'anomena "BioWare" (Kistler Instrument Co., Winterthur, Suïssa). A continuació es mostra una captura de la corba

específica de la marxa durant la baixada de graó que es visualitza amb el software comentat anteriorment.

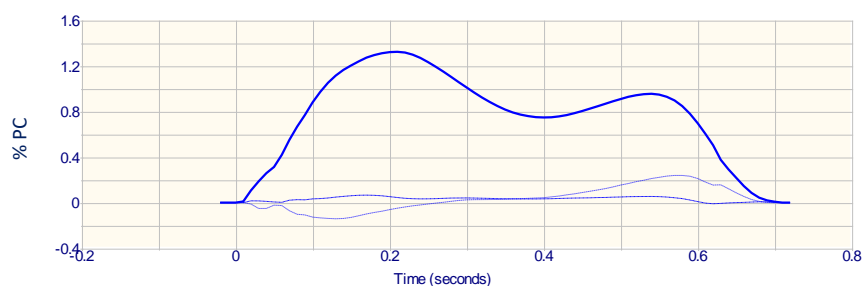


Figura 20. Gràfica de la cinètica de la baixada de graons. Font pròpia.

5.2. Pacients

Per saber quin percentatge de la població té lesions lligamentoses s'ha demanat a la clínica on es realitzarà l'experiment, MC Mutual Copèrnic, el nombre de pacients que tenen a l'any i quants d'aquests pateixen lesions lligamentoses. Un total de 2275 pacients han sigut atesos per la clínica des del 01/01/2018 fins al 31/12/2018. D'aquests, 507 van acudir a les instal·lacions per problemes relacionats amb l'articulació del genoll i un total de 85 pacients presentaven una ruptura parcial o total del lligament creuat anterior (LCA). Per avaluar el protocol i determinar si els resultats obtinguts són similars als llegits a la literatura, s'ha demanat la participació de vuit individus.

5.2.1. Criteris d'inclusió

Tots els pacients amb una lesió aguda de lligament creuat anterior del genoll que puguin caminar sense ajut de bastó per poder baixar escales poden realitzar l'experiment.

Els pacients poden participar en la prova abans de sotmetre's a una intervenció quirúrgica (pre IQ) i/o després d'aquesta (post IQ). Els pacients que ja han sigut intervinguts han d'haver aconseguit més de 100° de flexió de genoll i tenir la capacitat de poder baixar les escales alternant les EEII sense precisar suport de bastó o barana.

L'annex 3 mostra una taula resum dels pacients que han participat a l'experiment.

5.2.2. Criteris d'exclusió

Es descarten individus amb antecedents de fractures o altres patologies traumàtiques o reumàtiques prèvies a les extremitats inferiors (EEII) perquè podrien afectar els resultats de l'estudi.

També es descarten individus que precisen l'ús de bastons per la marxa.

5.3. Metodologia

5.3.1. Exploració física i tests clínics

Abans de realitzar la prova, tots els pacients han sigut sotmesos a una sèrie d'exploracions i test clínics per part d'un traumatòleg. El que es pretén amb això és determinar si el pacient és apte o no per a l'execució de la prova.

Totes les exploracions es valoren comparant l'extremitat afectada amb la sana.

5.3.1.1. Exploració clínica

L'exploració clínica és la primera que es realitza, doncs aporta una valoració global de l'articulació.

Principalment, els aspectes que es tenen en compte són si el genoll està globulós o tumefacte, és a dir, si existeix algun tipus de vessament intern i si presenta lesions cutànies. També detecten si existeix algun canvi tròfic, és a dir, coloració de la pell diferent, pèrdua de pèl a la zona de l'articulació, etc.

5.3.1.2. Exploració manual

En l'exploració manual s'observen altres paràmetres. Un exemple és l'existència de vessaments interns, que es determina mitjançant la maniobra de "peloteo". Altres observacions són la mobilitat de la ròtula i la mobilitat activa i passiva en flexió i extensió de l'articulació. Mitjançant l'escala de Daniel es mesura el balanç muscular.



Figura 21. Maniobra de “peloteo”. Font pròpia.

A més, es determina si hi ha presència de trastorns vasculars i, per acabar l'exploració, s'observa la marxa del pacient.

5.3.1.3. Test clínics

Els tests clínics serveixen per avaluar l'estabilitat de l'articulació. Els més utilitzats són la maniobra de calaix anterior, el test de Lachman i “*pivot shift*”. Aquests, aporten informació rellevant per sospitar el diagnòstic de ruptura del LCA.

La maniobra de calaix anterior posa de manifest si hi ha translació anterior de la tibia respecte el fèmur i es realitza amb el genoll flexionat a 90°.



Figura 22. Calaix anterior. Font pròpia

La maniobra de Lachman també detecta la presència de translació anterior de la tibia però el genoll es troba amb una extensió d'uns 20-30°.



Figura 23. Test de Lachman. Font pròpia

Una altra manera d'observar si el pacient té inestabilitat de genoll és realitzant el test clínic de "*pivot shift*", on el metge força el valg intern mentre fa una flexió de genoll.



Figura 24. Test de "*pivot shift*". Font pròpia.

5.3.2. Preparació del pacient

La preparació del pacient és la part de l'experiment en la que s'instrumenta el participant de la prova. Aquesta tasca idealment l'ha de fer sempre la mateixa persona per tal de minimitzar errors en les captures. En aquest cas, s'ha optat per utilitzar el model Helen Hayes de col·locació de marcadors.

Quinze marcadors reflectants de 8 mm diàmetre es col·loquen bilateralment a les protuberàncies òssies més importants de les extremitats inferiors perquè puguin ser

captats per les càmeres infraroges. Els marcadors es col·loquen als següents punts: 1) Espina ilíaca antero-superior (EIAS) dreta; 2) EIAS esquerra; 3) part mitja de la cuixa dreta just per sota la trajectòria de la ma dreta i de tal manera que el marcador formi un eix que talla l'eix longitudinal de la cuixa i és paral·lel a l'eix de flexo-extensió del genoll; 4) part mitja de la cuixa esquerra just per sota la trajectòria de la ma esquerra i de tal manera que el marcador forma un eix que talla l'eix longitudinal de la cuixa i és paral·lel a l'eix de flexo-extensió del genoll; 5) genoll dret a l'epicòndil lateral del fèmur; 6) genoll esquerre a l'epicòndil lateral del fèmur; 7) cama dreta, sobre el bessó extern dret formant un eix que talla l'eix longitudinal de la cama i és paral·lel a l'eix de flexo-extensió del turmell; 8) cama esquerra, sobre el bessó extern esquerre formant un eix que talla l'eix longitudinal de la cama i és paral·lel a l'eix de flexo-extensió del turmell; 9) turmell dret al mal·lèol lateral, just per sobre de l'eix transmal·leolar; 10) turmell esquerre al mal·lèol lateral, just per sobre de l'eix transmal·leolar; 11) dors del peu dret, entre el segon i el tercer metatarsià, a l'altura de la unió metatarso-falàngica; 12) peu esquerre, entre el segon i el tercer metatarsià, a l'altura de la unió metatarso-falàngica; 13) cara superior de la unió L5-sacre; 14) taló dret a la tuberositat major del calcani, aproximadament a la mateixa altura que el marcador situat sobre els dits del peu; 15) taló esquerre a la tuberositat major del calcani, aproximadament a la mateixa altura que el marcador situat sobre els dits del peu (AI, 2014).

A continuació, a la figura 25, es veu representada la col·locació dels marcadors segons el model explicat anteriorment.

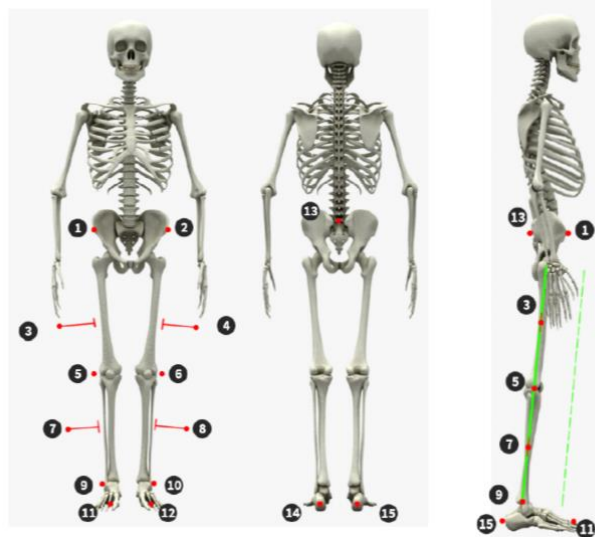


Figura 25. Posició dels marcadors en el model Helen Hayes. Extret de “Configuración tren inferior con calibración”.

5.3.3. Execució de la prova

Abans de realitzar la prova, els pacients hauran de signar un consentiment informat que es troba a l'annex 2. A continuació, es preguntarà al pacient el dolor que manifesta segons l'escala EVA (Escala Visual Analògica). Aquesta, va del 0 al 10 sent 10 dolor insuportable i 0 dolor inexistent. També es faran mesures antropomètriques amb una cinta mètrica dels diferents segments de les EEII. Així doncs, es mesuraran la longitud de l'extremitat inferior (des de la cresta ilíaca superior fins al mal·lèol intern del turmell.), la distància entre trocànter i cresta ilíaca superior, l'amplada del genoll i l'amplada del turmell. A més es preguntaran dades com l'edat, l'alçada i el pes.

Seguidament, els pacients realitzaran almenys 5 baixades dels graons d'escalfament per assegurar-nos que són capaços de realitzar l'experiment correctament sense mostrar signes de dolor en la baixada i entenent que han de baixar les escales alternant les EEII. A continuació, es demanarà al pacient que es col·loqui al graó superior de l'escala i es realitzarà una calibració estàtica. Finalment, es demanarà al subjecte que efectui quatre baixades començant amb l'extremitat sana. Un cop a terra, haurà de seguir caminant unes 5 passes fins arribar a l'àrea de no captura de les càmeres. El pacient haurà de realitzar el mateix procediment començant amb l'extremitat afectada.

Aleshores, es retiraran els marcadors dels pacients per realitzar quatre vegades més l'exercici: dues començant amb la cama sana i dues amb la lesionada. Aquestes quatre mostres serviran únicament per a l'estudi cinètic de la marxa, on no son necessaris cap tipus de marcadors.

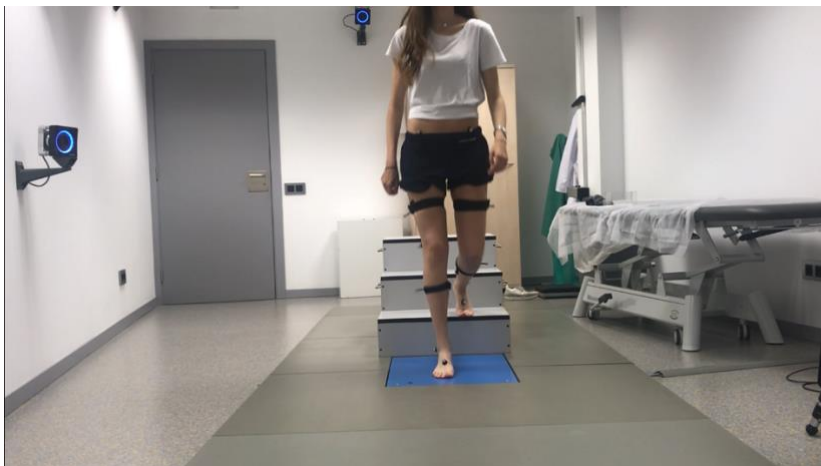


Figura 26. Captura d'un pacient realitzant la prova. Font pròpia.

5.4. Anàlisi de dades

Un objectiu molt important del treball per tal de dissenyar el protocol correctament és determinar quins són els paràmetres més rellevants per la valoració de la inestabilitat del genoll. La configuració bàsica del software utilitzat proporciona una gran quantitat de dades però no totes elles ens serveixen per l'estudi. Així doncs, després de revisar la bibliografia que fa referència al tema, s'han de seleccionar aquells paràmetres que realment ens aporten informació.

5.4.1. Anàlisi de dades cinemàtiques

A nivell cinemàtic, el programa inclou els angles de moviment dels tres moviments que el genoll és capaç de realitzar: flexió/extensió, valgus/varum i rotació interna/externa. La captura, però, no diferencia les quatre fases de la marxa en la baixada de graó: contacte inicial de la punta del peu, acceptació del pes, enlairament del peu i oscil·lació. Aquestes, han de ser diferenciades per la persona que es troba darrera l'ordinador. A continuació, es mostra una imatge de la recollida de dades realitzada per cada pacient.

Genoll DRET					
	Contacte inicial peu	Acceptació del pes	Enlairament del peu	Fase d'osil·lació	Velocitat Angular
Flexió (+)/Extensió (-)	9	29	43	53	-218
Valgus (+)/Varus (-)	3	5	3	-3	
Rotació I (+)/Rotació E (-)	6	15	3	-4	
	4	17	76	92	-381
	2	4	-6	-4	
	8	13	9	11	
			35	68	
			5	0	
			12	6	
Genoll ESQUERRE					
Flexió (+)/Extensió (-)	12	40	39	51	-145
Valgus (+)/Varus (-)	3	10	6	1	
Rotació I (+)/Rotació E (-)	9	19	0	5	
	8	22	70	88	-319
	2	5	-4	2	
	8	5	10	22	
			28	62	
			6	1	
			10	9	

Taula 1. Excel de dades cinemàtiques dels pacients. Font pròpia.

Tal com s'observa a la figura anterior, les dades se separen segons el graó, el moviment i la fase del cicle de marxa. No obstant això, l'únic graó que ens interessa és l'últim. Aquests, és el que permet el contacte amb la plataforma dinamomètrica. Els altre dos graons, a part de permetre un cicle de marxa complet, serveixen d'adaptació pels pacients.

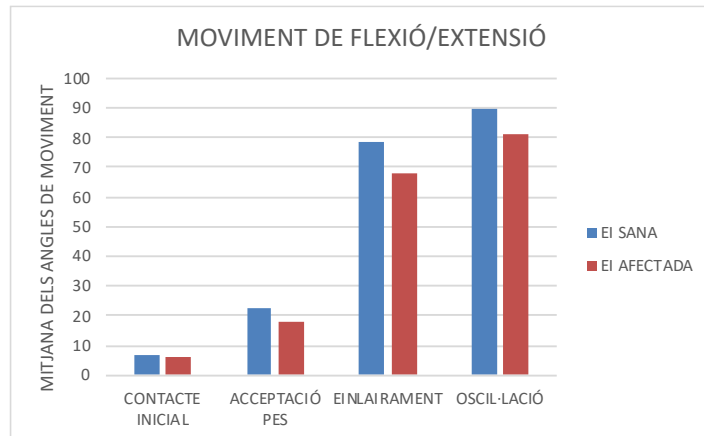
El primer pas que es realitza un cop agrupades les dades de tots els pacients és separa-les per moviment i extremitat inferior sana o afecta, calcular la mitjana dels graus de moviment de les quatre repeticions i posar-les a una taula com la que es mostra a continuació.

MOVIMENT DE FLEXIÓ (+) / EXTENSIÓ (-)								
	Contacte inicial de la punta del peu		Acceptació del pes		Enlairament del peu		Oscil·lació	
	EI SANA	EI AFECTADA	EI SANA	EI AFECTADA	EI SANA	EI AFECTADA	EI SANA	EI AFECTADA
Pacient 1	17,25	17,75	33,25	33,5	83,25	82,5	92,5	101
Pacient 2	4,75	7,25	23,25	23,5	81,75	66,75	96	84,25
Pacient 3	3,25	4,5	17,5	16	80,25	71,25	86,75	78,75
Pacient 4	-2,75	-3,25	13	6,75	75,5	75,75	81	81,5
Pacient 5	4,25	2,67	18,00	10,00	80,75	51,67	95,25	68,00
Pacient 6	1,5	0	15,75	14	69,25	52,75	80,75	67,25
Pacient 7	12,5	5,5	35,5	21,25	85,75	70,75	92,75	81,75
Pacient 8	7,75	5,25	24,25	20	69,5	74,25	93,25	89,25

Taula 2. Taula resum del moviment de flexió/extensió. Font pròpia.

L'annex 4 mostra les taules realitzades pels moviments restants.

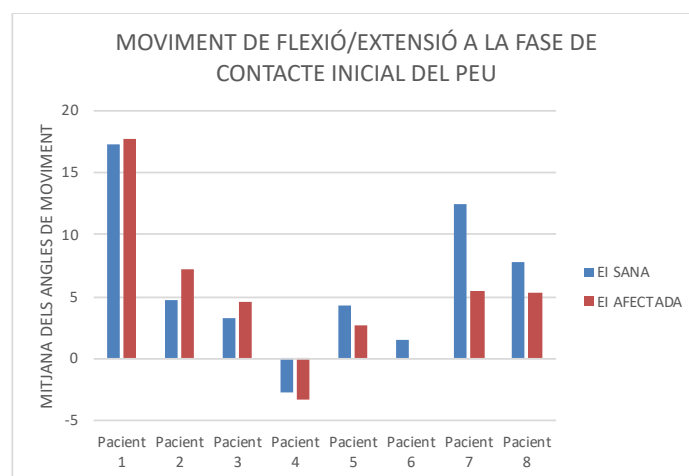
A continuació, s'agrupa la mitjana dels resultats de cada un dels pacients i es crea una gràfica per tal d'observar la tendència general que tenen els pacients a l'hora de realitzar cert moviment.



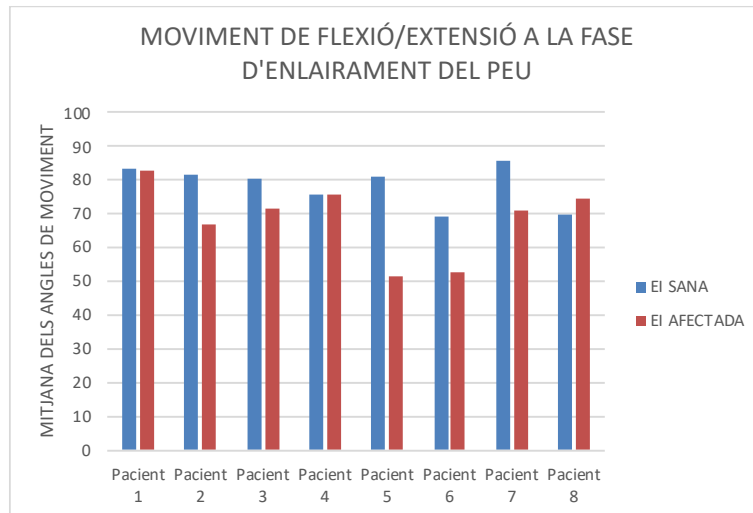
Gràfica 1. Agrupació de les dades del moviment de flexió/extensió segons les fases del cicle de marxa en la baixada de graons. Font pròpia.

La tendència general dels pacients és realitzar un moviment de flexió, enlloc d'extensió, a totes les fases de la marxa. A més, es pot comprovar que l'extremitat sana es flexiona més que l'extremitat afectada.

A part de l'estudi de la tendència general, també s'analitzen els resultats obtinguts pels pacients a les fases que es consideren més rellevants: contacte inicial de la punta del peu i enlairament del peu.



Gràfica 2. Moviment de flexió/extensió a la fase de contacte inicial del peu. Font pròpia.



Gràfica 3. Moviment de flexió/extensió a la fase d'enlairament del peu. Font pròpia.

Altament es pot observar amb més detall com l'extremitat sana és capaç de flexionar-se més que l'extremitat afectada.

L'annex 4 inclou les gràfiques de les altres fases de la marxa en baixada de graons.

5.4.2. Anàlisi de la velocitat angular

Tot i ser un paràmetre que s'obté amb l'anàlisi cinemàtic, la velocitat angular s'estudia per separat ja que es considera molt rellevant per l'estudi. Aquesta, aporta informació sobre la precaució que tenen els individus a l'hora de recolzar el peu. Per aquest motiu, aquest paràmetre només s'observa moments previs a la fase de contacte inicial del peu.

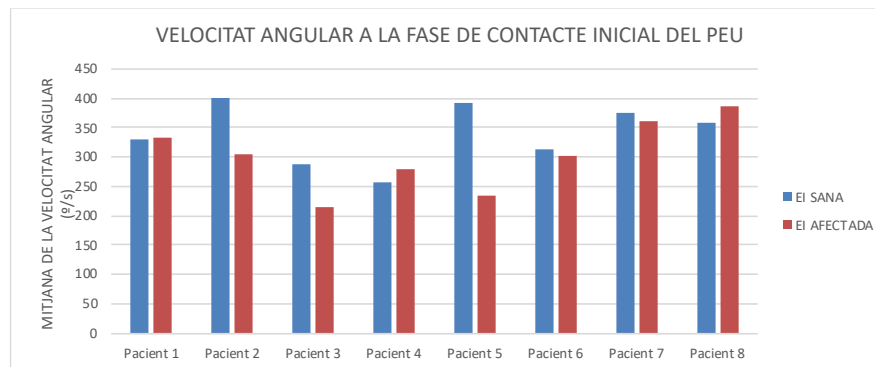
Aquest estudi s'ha realitzat de la mateixa manera que l'anterior. Totes les dades s'han agrupat per pacient i per extremitat i s'han calculat les mitjanes dels valors.

VELOCITAT ANGULAR															
PACIENT 1		PACIENT 2		PACIENT 3		PACIENT 4		PACIENT 5		PACIENT 6		PACIENT 7		PACIENT 8	
EI SANA	EI AFECTADA	EI SANA	EI AFECTADA	EI SANA	EI AFECTADA	EI SANA	EI AFECTADA	EI SANA	EI AFECTADA	EI SANA	EI AFECTADA	EI SANA	EI AFECTADA	EI SANA	EI AFECTADA
316,98	333,8	425,07	313,32	325,99	208,98	289,32	289,28	356,32	178,61	288,85	302,94	365,68	345,48	318,69	394,71
350,85	330,02	385,31	302,24	249,26	205,8	276,9	252,24	413,74	268,73	324,26	272,93	359,35	353,59	371,58	380,81
329,43	318,72	387,1	316,2	327,59	198,81	248,75	305,54	398,46	229,39	342,19	320,69	355,38	381,93	355,64	388,83
319,59	352,55	398,87	282,24	248,2	245,27	232,36	264,21	402,62	256,41	313,69	312,09	330,45	363,56	386,57	381,91
MITJANA	329,21	333,72	399,09	303,55	287,76	214,69	256,83	277,82	392,79	232,79	312,25	302,16	357,72	361,14	358,12

Taula 3. Taula resum de les captures de la velocitat angular. Font pròpia.

Un detall que cal destacar és que la velocitat angular que es recull és negativa. Aquesta, però, és canviada de signe a la taula 3 perquè es té en compte que el moviment del genoll és en extensió.

A partir de la taula s'obté la gràfica següent:



Gràfica 4. Mitjana de la velocitat angular a la fase de contacte inicial del peu. Font pròpia.

L'extremitat afectada aconsegueix una velocitat angular inferior a l'extremitat sana com a mostra de precaució a l'hora de recolzar el peu a terra. Aquest fet va molt lligat al dolor que experimenta l'individu. El pacient 3 presenta un EVA de 6, el més alt de tots els pacients. Aquest, de manera esperada, assoleix una velocitat angular molt inferior als altres pacients que no experimenten un nivell de dolor tant alt.

Per altra banda, també es creu que la velocitat de l'extremitat sana és superior per reduir el temps de recolzament de la cama afectada.

5.4.3. Anàlisi de les dades cinètiques

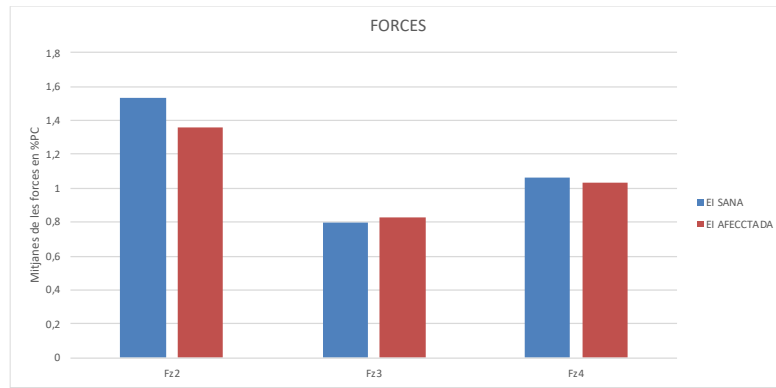
Finalment, per a l'estudi cinètic s'han realitzat les mateixes operacions que en els altres dos anàlisis.

	Fz2		Fz3		Fz4		bn		en	
	EI SANA	EI AFECTADA	EI SANA	EI AFECTADA	EI SANA	EI AFECTADA	EI SANA	EI AFECTADA	EI SANA	EI AFECTADA
Pacient 1	1,41	1,57	0,83	0,78	1,05	1,04	7,49	11,37	5,09	5,31
Pacient 2	1,69	1,49	0,70	0,78	1,08	1,03	11,30	11,51	4,61	5,22
Pacient 3	1,31	1,03	0,90	0,94	1,05	1,03	6,36	2,94	3,28	3,16
Pacient 4	1,23	1,11	0,89	0,92	1,04	1,01	6,00	5,13	2,47	2,55
Pacient 5										
Pacient 6	1,41	1,45	0,83	0,77	1,05	1,00	7,30	8,13	4,99	5,39
Pacient 7	1,68	1,33	0,75	0,82	1,03	1,04	13,79	6,35	5,04	3,95
Pacient 8	1,95	1,51	0,73	0,78	1,10	1,04	20,52	15,12	4,32	5,89

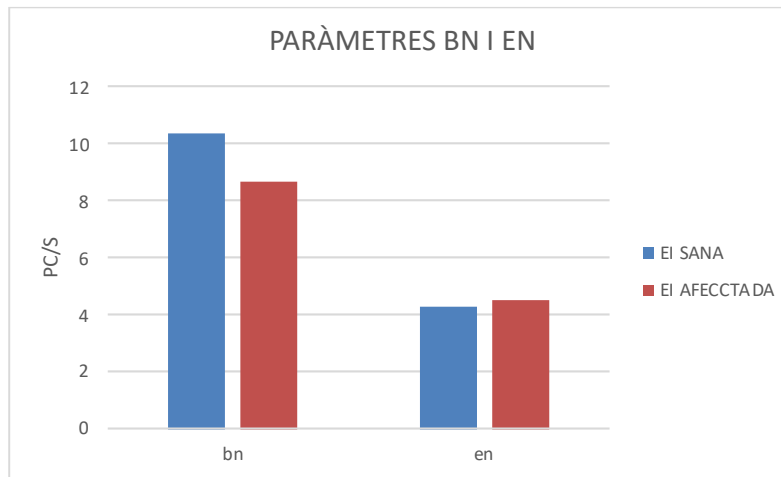
Taula 4. Agrupació de les mitjanes dels pacients segons les forces cinètiques. Font pròpia.

El pacient 5 no disposa d'anàlisi cinètic per problemes amb el desament de les captures.

Les gràfiques resultants de la taula 4 són les següents:



Gràfica 5. Gràfica de les forces cinètiques. Font pròpia.



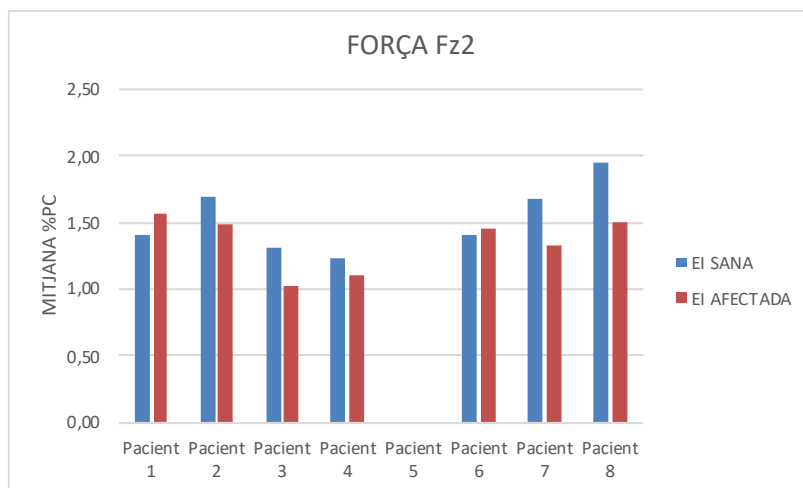
Gràfica 6. Paràmetres bn i en. Font pròpia.

Les gràfiques anteriors mostren que l'extremitat sana obté valors més elevats que l'extremitat afectada.

De tots els paràmetres que es poden obtenir de la gràfica de les forces, els que més interessen són la Fz2 i el bn. Per aquest motiu, a continuació es mostra un anàlisi més detallat d'aquests.

	Fz2													
	Pacient 1		Pacient 2		Pacient 3		Pacient 4		Pacient 6		Pacient 7		Pacient 8	
	El SANA	El AFECTADA	El SANA	El Afectada	El Sana	El Afectada	El Sana	El Afectada	El Sana	El Afectada	El Sana	El Afectada	El Sana	El Afectada
	1,57	1,57	1,71	1,50	1,21	1,26	1,18	1,57	1,32	1,68	1,3	2,07	1,6	
	1,25	1,56	1,66	1,48	1,4	1,2	1,03	1,25	1,58	1,67	1,36	1,83	1,43	
Mitjana	1,41	1,57	1,69	1,49	1,31	1,03	1,23	1,11	1,41	1,45	1,68	1,33	1,95	1,52

Taula 5. Dades de força Fz2 assolits per cada pacient. Font pròpia.

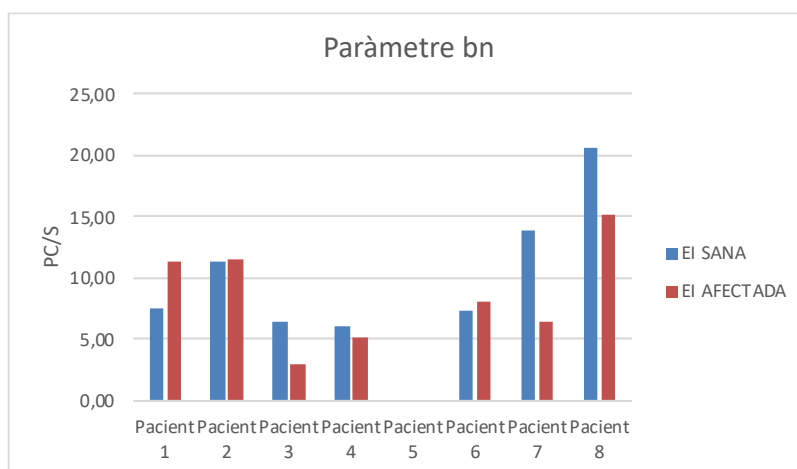


Gràfica 7. Força Fz2 de cada pacient i extremitat. Font pròpia.

Tal com s'ha explicat anteriorment, Fz2 és el primer pic de força que es genera durant el recolzament del peu. Aquest pic, segons explicava la literatura, és superior en l'extremitat sana que en l'afectada i el seu valor sol ser entre l'1,5% i el 2% del pes corporal (Stacoff *et al.*, 2005). La majoria de pacients es troben gairebé dins d'aquest rang menys el pacient 3. Aquest, al mostrar més dolor que els altres, assoleix un valor de la força que gairebé no supera l'1% del seu pes corporal.

	bn													
	Pacient 1		Pacient 2		Pacient 3		Pacient 4		Pacient 6		Pacient 7		Pacient 8	
	El Sana	El Afectada	El Sana	El Afectada	El Sana	El Afectada	El Sana	El Afectada	El Sana	El Afectada	El Sana	El Afectada	El Sana	El Afectada
	9,05	13,06	12,22	10,72	6,73	2,94	6,61	5,6	8,67	6,57	13,66	5,92	20,69	15,97
Mitjana	7,49	11,37	11,30	11,51	6,36	2,94	6,15	5,13	7,30	8,13	13,79	6,35	20,52	15,12

Taula 6. Dades del paràmetre bn assolits per cada pacient. Font pròpia.



Gràfica 8. Paràmetre bn de cada pacient i extremitat. Font pròpia.

La majoria de pacients que van realitzar la prova no manifestaven dolor. El dolor va molt associat amb el paràmetre bn, doncs com més dolor, més baix és el valor del paràmetre bn. En aquest cas, la observació més rellevant que s'ha obtingut està relacionada amb el pacient 3, que experimentava un EVA de 6 i assoleix el valor més petit amb l'extremitat afectada.

L'annex 4 mostra les taules i gràfiques dels altres paràmetres estudiats cinèticament.

6. Resultats

L'objectiu principal del treball s'ha assolit correctament, doncs s'ha creat un protocol per la valoració de la inestabilitat de genoll que serà aplicat a la clínica MC Mutual Copèrnic.

La tasca més important a l'hora de dissenyar el protocol era realitzar una molt bona revisió bibliogràfica que ens posés en context sobre el tema de la inestabilitat de genoll i el seu possible estudi. Gràcies això, s'ha escollit i, fins i tot, construït la instrumentació que s'adapta més a les instal·lacions de la clínica MC Mutual Copèrnic. Aquesta, inclou les càmeres de captura de moviment, els graons i la plataforma dinamomètrica.

Per altra banda, s'ha dissenyat una metodologia entenedora per la realització de la prova. Tots els passos que s'han de seguir i la manera que s'han d'executar es troben ben detallats al cos de la memòria. Així doncs, qualsevol persona que disposi del material hauria de ser capaç de realitzar la prova sense cap inconvenient.

Finalment, una part molt important del treball és escollir quines variables s'hauran d'analitzar per aportar informació sobre l'articulació del genoll i la seva inestabilitat. Com s'ha comentat a l'apartat anterior, els softwares amb els que s'ha treballat aporten una gran quantitat de dades. Moltes d'elles, però, són innecessàries per l'estudi que s'ha realitzat. Així doncs, s'han analitzat només aquelles dades que s'han considerat més rellevants. A nivell cinemàtic, s'ha efectuat un estudi general del comportament de l'articulació en tots els moviments que és capaç de realitzar. Després, de les quatre fases del cicle de marxa, s'ha considerat necessari estudiar només les fases de contacte inicial de la punta del peu i enlairament, ja que es creu

que aquestes aporten informació sobre la precaució del pacient a l'hora de recolzar el peu i enlairar-lo. La velocitat angular també és un paràmetre que ens informa sobre el dolor i la prudència dels pacients. Aquesta, s'ha estudiat en el moment previ de la fase de recolzament, quan el genoll es troba totalment en extensió. Per acabar, s'han analitzat les dades obtingudes cinèticament. S'han analitzat totes les forces i paràmetres de la gràfica que s'obté amb la plataforma dinamomètrica de forces. No obstant això, els valors que aporten més informació sobre l'anàlisi són la força Fz2 i el paràmetre bn. Ambdós es troben explicats a l'apartat 6.2. Aquests, altrament, proporcionen dades que permeten saber en quin estat es troba l'articulació del genoll.

7. Conclusions

El disseny d'un protocol per l'anàlisi de la inestabilitat de genoll s'ha realitzat amb èxit. A partir d'ara, la clínica MC Mutual Copèrnic disposa d'un protocol per estudiar l'articulació del genoll durant la marxa en la baixada de graons.

Després de realitzar la memòria s'ha arribat a les conclusions següents:

- La revisió bibliogràfica és essencial per conèixer l'estat actual de l'objecte d'estudi i per saber què s'ha fet fins l'actualitat.
- S'ha de saber escollir quina és la instrumentació necessària per efectuar la prova que s'adapta més a les instal·lacions on es vol realitzar aquesta. La utilització de sis càmeres infraroges de captura de moviment, una plataforma dinamomètrica de forces i una escala amb tres graons dissenyats segons les especificacions de les guies de construcció és suficient per realitzar un bon anàlisi de la inestabilitat de genoll.
- La metodologia és la part més important del treball i ha de permetre que qualsevol persona amb els instruments explicats a l'apartat 7.1 i seguint el procediment de l'apartat 7.3, pugui realitzar l'experiment i obtenir uns valors similars als que s'han obtingut en aquest estudi.
- Escollir quines són les dades més rellevants per l'estudi és una tasca totalment necessària a l'hora de dissenyar el protocol, ja que permet focalitzar tota l'atenció en aquells paràmetres que realment aporten informació sobre el tema que s'està estudiant. Per a l'estudi de la inestabilitat de genoll, es considera que

cinemàticament s'ha de tenir una visió global de tots els moviments que el genoll pot realitzar. També és important analitzar per separat les fases de contacte inicial del peu i enlairament d'aquest. La velocitat angular moments abans del contacte inicial de peu també aporta informació rellevant per a l'estudi. Tampoc es poden oblidar l'anàlisi de les forces i dels paràmetres que s'obtenen mitjançant la cinètica. D'aquests, els que aporten més informació són la força $Fz2$ i el paràmetre bn .

Les dades de cada pacients obtingudes en la realització de la prova permeten també extreure conclusions generals dels resultats que s'obtindran amb la prova:

- Generalment, els angles de moviment de la cama sana són més alts que els aconseguits amb la cama afectada.
- Existeix una precaució a l'hora de recolzar el peu al terra que es pot observar mitjançant l'anàlisi de la velocitat angular.
- Els valors de força que s'obtenen amb l'extremitat sana són superiors als que s'obtenen amb l'extremitat afectada.
- Tots aquests paràmetres estan relacionats amb el dolor que experimenta el pacient a l'hora de realitzar la prova.
- Es pot demostrar que el patró de marxa de la cama afectada és diferent que el de la cama sana. Això pot ser degut a varis factors: inseguretats a l'hora de realitzar esforços que comprometen més l'articulació, dolor o, fins i tot, por o respecte per segons quin tipus d'activitat i moviment.

Finalment, cal destacar que els breus resultats obtinguts amb l'anàlisi de dades correspon amb el que s'ha trobat a la literatura llegida. Així doncs, es pot determinar que el protocol és fiable i que la seva aplicació és apte per a la clínica MC Mutual Copèrnic.

7.1. Problemes i possibles millores

Tot i que el protocol és fiable i es pot començar a utilitzar a la clínica MC Mutual Copèrnic, hi ha una sèrie de problemes i millores que es podrien realitzar.

En primer lloc, cal tenir en compte que el protocol ha sigut dissenyat segons les especificacions del laboratori de la Clínica MC Mutual Copèrnic. Així doncs, a l'hora de fer l'estudi s'han tingut en compte les càmeres infraroges i les plataformes integrades en aquest. Per futurs estudis, s'haurien d'utilitzar dues plataformes de força i col·locar-les consecutivament sobre els graons. A més, es podria construir una escala amb almenys cinc graons.

Una millora que es podria fer al protocol és integrar el càlcul de moments de força. Això no ha sigut possible per causes externes a la clínica, doncs el software que s'ha utilitzat no disposava d'aquest càlcul quan es va iniciar l'estudi.

Al principi de l'estudi es pretenia comparar la funcionalitat del genoll abans i després de la intervenció quirúrgica. Per falta de pacients pre-intervenció quirúrgica això no ha sigut possible. Aquest problema es podria solucionar planificant millor les proves i les intervencions quirúrgiques.

8. Referències

Al, M. P. K. E. (2014) 'Measurement of lower extremity kinematics during level walking', *Classic Papers in Orthopaedics*, pp. 397–398. doi: 10.1007/978-1-4471-5451-8_100.

Alkjær, T., Henriksen, M. and Simonsen, E. B. (2011) 'Different knee joint loading patterns in ACL deficient copers and non-copers during walking', pp. 615–621. doi: 10.1007/s00167-010-1302-2.

Bohn, M. B. *et al.* (2016) 'Three-dimensional kinematic and kinetic analysis of knee rotational stability in ACL-deficient patients during walking, running and pivoting', *Journal of Experimental Orthopaedics*. *Journal of Experimental Orthopaedics*. doi: 10.1186/s40634-016-0062-4.

Busch, A. *et al.* (2019) 'Neuromuscular activity during stair descent in ACL reconstructed patients: A pilot study', *Knee*. Elsevier B.V., 26(2), pp. 310–316. doi: 10.1016/j.knee.2018.12.011.

Cailliet, R. (2006) *Anatomía funcional, biomecánica*. Madrid: Marban Libros S. L.

Fuentes, A. *et al.* (2011) 'Clinical Biomechanics Gait adaptation in chronic anterior cruciate ligament-deficient patients: Pivot-shift avoidance gait', *JCLB*. Elsevier Ltd, 26(2), pp. 181–187. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2010.09.016.

Georgoulis, A. D. and Papadonikolakis, A. (2003) 'Three-Dimensional Tibiofemoral Kinematics of the Anterior Cruciate Ligament-Deficient and Reconstructed Knee during Walking *', 31(1), pp. 75–79.

Grenholm, A., Stensdotter, A. and Häger-ross, C. (2009) 'Clinical Biomechanics Kinematic analyses during stair descent in young women with patellofemoral pain', *Clinical Biomechanics*. Elsevier Ltd, 24(1), pp. 88–94. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2008.09.004.

Guerra-filho, G. B. (no date) 'Optical Motion Capture: Theory and Implementation', pp. 1–29.

I.A. Kapandji (2006) *Cuadernos de fisiología articular. Tomo II*. 5a edición. Paris: Libraririe Maloine.

Mcfadyen, B. J. and Winter, D. A. (1988) 'AN INTEGRATED BIOMECHANICAL ANALYSIS OF NORMAL STAIR ASCENT AND DESCENT', 21(9), pp. 733–744.

Oh, J. *et al.* (2018) 'Validity of the Microsoft Kinect™ in assessing spatiotemporal and lower extremity kinematics during stair ascent and descent in healthy young individuals', *Medical Engineering and Physics*. Elsevier Ltd, 60, pp. 70–76. doi: 10.1016/j.medengphy.2018.07.011.

Papagiannis, G. I. *et al.* (2018) 'Gait analysis methodology for the measurement of biomechanical parameters in total knee arthroplasties. A literature review', *Journal of Orthopaedics*. Elsevier, 15(1), pp. 181–185. doi: 10.1016/j.jor.2018.01.048.

Rierola Colomer, S. (2017) *Tema 4. Extremitat inferior*. UVic-UCC. [Apunts acadèmics].

Ristanis, S. *et al.* (2003) 'The effects of anterior cruciate ligament reconstruction on tibial rotation during pivoting after descending stairs', pp. 360–365. doi: 10.1007/s00167-003-0428-x.

Sánchez Lacuesta, J., Prat, J., Hoyos, J., Viosca, E., Soler Gracia, C., Comín, M.,... Vera, P. (1993) *Biomecánica de la marcha humana normal y patológica*. Valencia: Instituto de Biomecánica de Valencia.

Stacoff, A. *et al.* (2005) 'Ground reaction forces on stairs: Effects of stair inclination and age', *Gait and Posture*, 21(1), pp. 24–38. doi: 10.1016/j.gaitpost.2003.11.003.

Studies, P. R. (2002) 'Kinematics and Laxity of the Knee Joint after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction', 30(3), pp. 361–367.

Suriñach, A. (2018) *Capítol 3. Sensors i transductors Instrumentació electrònica*. UVic-UCC. [Apunts acadèmics].

Telhan, G. *et al.* (2010) 'Lower Limb Joint Kinetics During Moderately Sloped Running', 45(1), pp. 16–21.

9. Annexes

9.1. Annex 1

INFORMACIÓ PER ALS PARTICIPANTS

La prova que realitzarà és pel treball de final de grau “Disseny d’un protocol d’estudi del patró cinètic i cinemàtic de la inestabilitat del genoll en la prova de baixada de graons”.

En el context d’aquesta prova li demanem la seva col·laboració per recaptar els resultats de la prova i utilitzar-les per l’estudi, ja que vostè compleix els següents criteris d’inclusió: lesió lligamentosa de genoll en estat pre/post operatori.

Tots els participants tindran assignats un codi per el qual és impossible identificar al participant amb les respostes donades, garantint la confidencialitat. Les dades que s’obtidran de la seva participació no s’utilitzaran amb un altre fi diferent de l’explicat en aquesta investigació i passaran a formar part d’un fitxer de dades del que serà màxim responsable l’estudiant. Aquestes dades quedaran protegides i només l’estudiant Mariona Saez Santacreu i l’equip de metges de la clínica MC Mutual Copèrnic les podran utilitzar.

9.2. Annex 2

CONSENTIMENT INFORMAT

Jo,, major d’edat i amb DNI,

DECLARO QUE:

he estat informat sobre el projecte “Disseny d’un protocol d’estudi del patró cinètic i cinemàtic de la inestabilitat del genoll en la prova de baixada de graons” del qual se m’ha lliurat un full informatiu annex a aquest consentiment i pel qual es sol·licita la meva participació. He entès el seu significat, se m’han aclarit els dubtes i m’han estat exposades les accions que es deriven del mateix. Se m’ha informat de tots els aspectes relacionats amb la confidencialitat i protecció de dades pel que fa a la gestió de dades personals que comporta el projecte i les garanties donades en compliment de la Llei

orgànica 15/1999, de 13 de desembre, de protecció de dades de caràcter personal i el Reglament general (UE) 2016/679, de 27 d'abril de 2016, de protecció de dades i normativa complementària.

La meua col·laboració en el projecte és totalment voluntària i tinc dret a retirar-me'n en qualsevol moment, revocant aquest consentiment, sense que aquesta retirada pugui influir negativament en la meua persona en cap cas. En cas de retirada, tinc dret a que les meues dades siguin cancel·lades del fitxer de l'estudi.

Així mateix, renuncio a qualsevol benefici econòmic, acadèmic o de qualsevol altra naturalesa que pogués derivar-se del projecte o dels seus resultats.

Per tot això,

Dono el meu consentiment a:

1. Participar en el projecte "Disseny d'un protocol d'estudi del patró cinètic i cinemàtic de la inestabilitat del genoll en la prova de baixada de graons".
2. Que l'equip de metges de rehabilitació de la clínica de MC Mutual Copèrnic, puguin gestionar les meues dades personals i difondre la informació que el projecte generi. Es garantitzi que es preservarà en tot moment la meua identitat i intimitat, amb les garanties establertes a la Llei orgànica 15/1999, de 13 de desembre, de protecció de dades de caràcter personal i el Reglament general (UE) 2016/679, de 27 d'abril de 2016, de protecció de dades i normativa complementària.
3. Que l'equip de metges de rehabilitació de la clínica de MC Mutual Copèrnic conservi tots els registres efectuats sobre la meua persona en suport electrònic, amb les garanties i els terminis legalment previstos, si estiguessin establerts, i a falta de previsió legal, pel temps que fos necessari per complir les funcions del projecte per les que les dades són recaptades.

Barcelona, de del

Signatura participant

Signatura alumne

9.3. Annex 3

TAULA DE PACIENTS

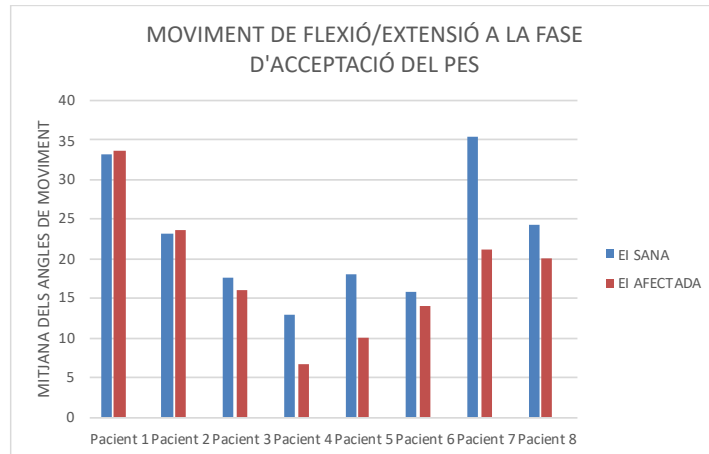
Pacient	Edat (anys)	Sexe	Diagnòstic	Costat afectat	Pes (Kg)	Alçada (cm)	Estat actual	EVA	Temps d'evolució (setmanes)	Test clínics
1	35	Masculí	Ruptura LCA	Dreta	71,4	175	Pre IQ	0	15	Positiu
2	21	Femení	Ruptura LCA	Dreta	60,4	159	Pre IQ	3	7	Positiu
3	25	Masculí	Ruptura LCA	Esquerre	74,7	170	Post IQ	6	15	Positiu
4	33	Masculí	Ruptura LCA	Dreta	102,8	173	Post IQ	0	34	Positiu
5	45	Masculí	Ruptura LCA	Esquerre	78,9	179	Post IQ	3	9	No valorables
6	41	Masculí	Ruptura LCA	Dreta	92,6	190	Post IQ	3	14	Positiu
7	28	Masculí	Ruptura LCA	Dreta	106,4	186	Post IQ	0	26	Positiu
8	23	Masculí	Ruptura LCA	Dreta	81,9	180	Post IQ	2	49	positiu

Taula 7. Resum de les característiques dels pacients que han participat a l'experiment. Font pròpia.

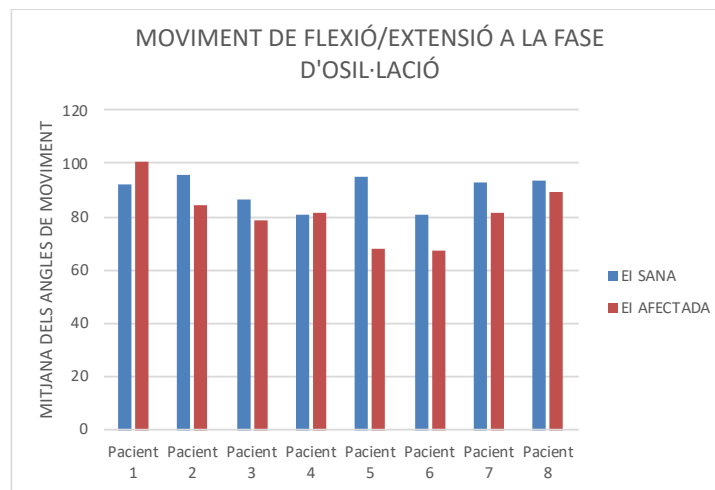
9.4. Annex 4

ANÀLISI DE DADES

MOVIMENT DE FLEXIÓ/EXTENSIÓ



Gràfica 9. Moviment de flexió/extensió a la fase d'acceptació del pes. Font pròpia.



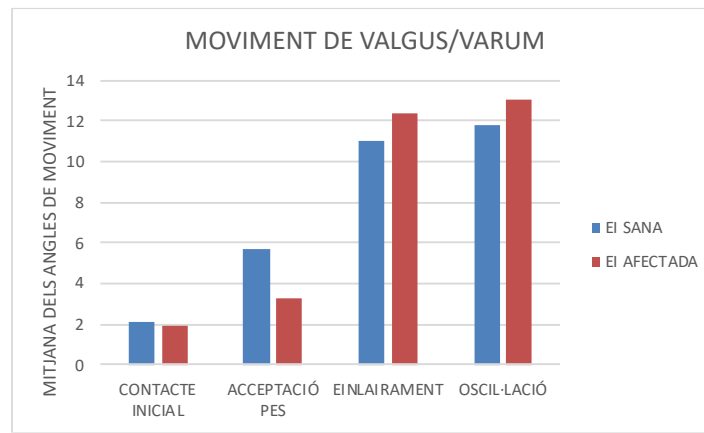
Gràfica 10. Moviment de flexió/extensió a la fase d'oscil·lació. Font pròpia.

MOVIMENT DE VALGUS/VARUM

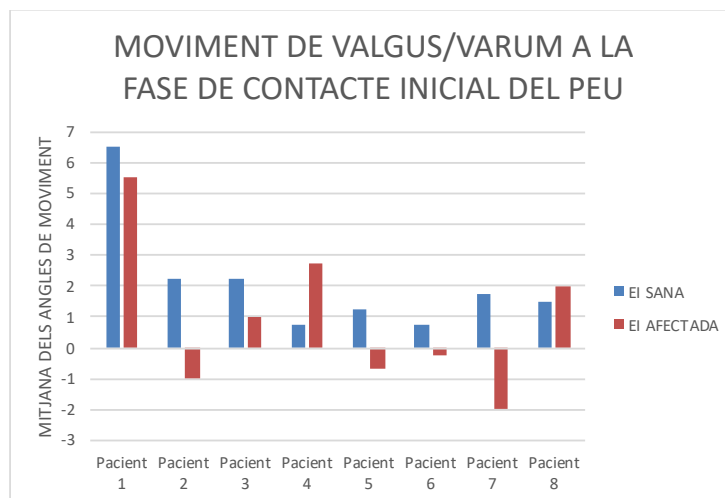
MOVIMENT DE VALGUS (+) / VARUM (-)

	Contacte inicial de la punta del peu		Acceptació del pes		Enlairament del peu		Oscil·lació	
	EI SANA	EI AFECTADA	EI SANA	EI AFECTADA	EI SANA	EI AFECTADA	EI SANA	EI AFECTADA
Pacient 1	6,5	5,5	7,25	10,5	6	5	4,75	5,5
Pacient 2	2,25	-1	7,5	-3,75	18,5	-12,25	23,25	-11,75
Pacient 3	2,25	1	6,5	2,75	18,5	-11	13	-13,5
Pacient 4	0,75	2,75	-3,25	0,5	-21,75	-6,25	-26,25	-10,75
Pacient 5	1,25	-0,67	4,00	-3,33	5,75	-20,33	8,25	-23,00
Pacient 6	0,75	-0,25	2,25	-1,5	-11,5	-14	-11,75	-15,5
Pacient 7	1,75	-2	9,25	-0,75	3,25	-19,5	2,5	-16,5
Pacient 8	1,5	2	5,5	3	-3	-10,5	4,5	-8

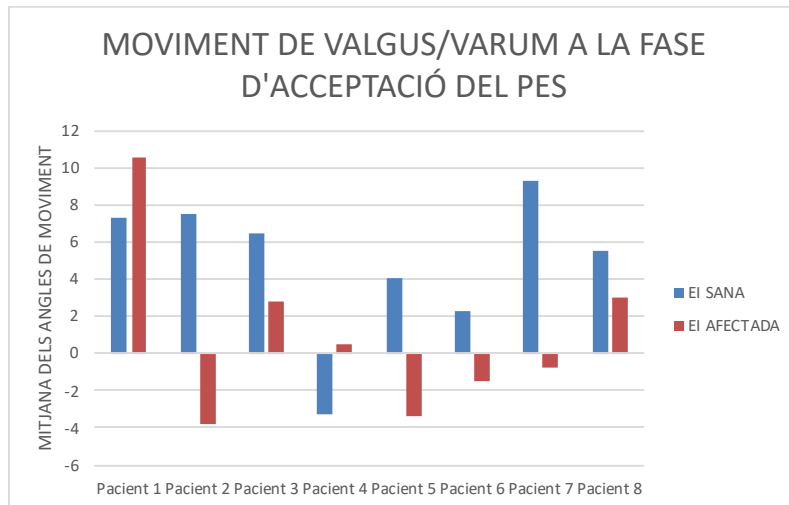
Taula 8. Taula resum del moviment de valgus/varum. Font pròpia.



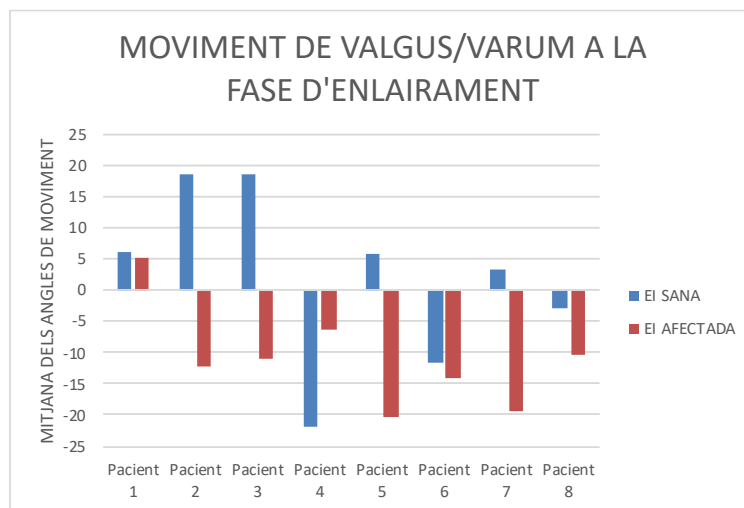
Gràfica 11. Agrupació de les dades del moviment de valgus/varum segons les fases del cicle de marxa en la baixada de graons. Font pròpia.



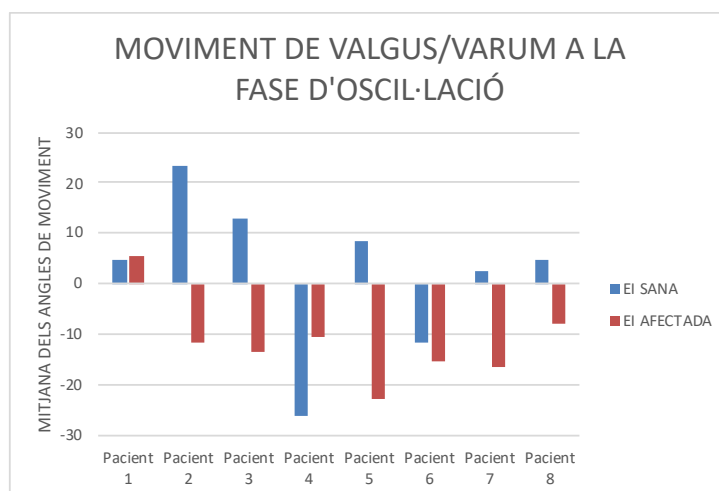
Gràfica 12. Moviment de valgus/varum a la fase de contacte inicial del peu. Font pròpia.



Gràfica 13. Moviment de valgus/varum a la fase d'acceptació del pes. Font pròpia.



Gràfica 14. Moviment de valgus/varum a la fase d'enlairament. Font pròpia.



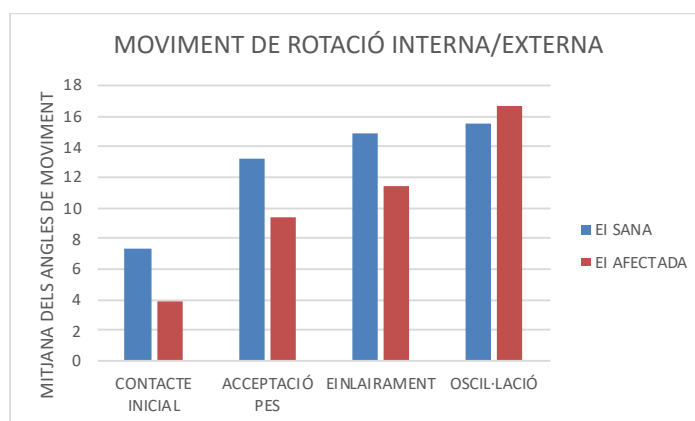
Gràfica 15. Moviment de valgus/varum a la fase d'oscil·lació. Font pròpia.

MOVIMENT DE ROTACIÓ INTERNA/EXTERNA

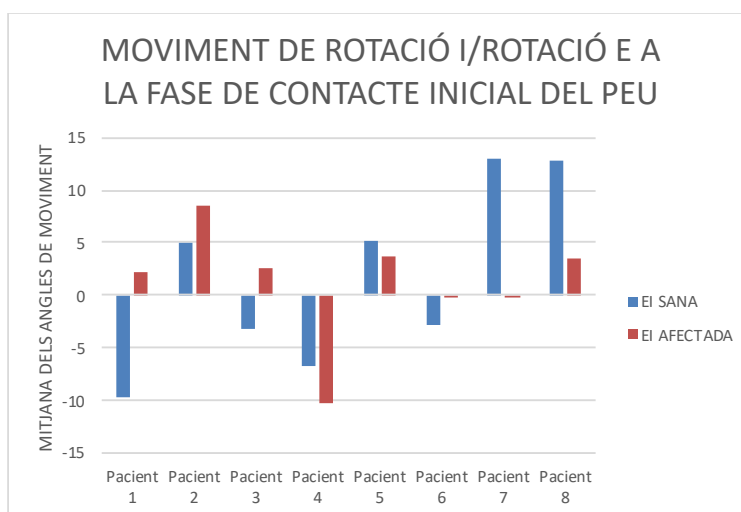
MOVIMENT DE ROTACIÓ INTERNA (+) / ROTACIÓ EXTERNA (-)

	Contacte inicial de la punta del peu		Acceptació del pes		Enlairament del peu		Oscil·lació	
	EI SANA	EI AFECTADA	EI SANA	EI AFECTADA	EI SANA	EI AFECTADA	EI SANA	EI AFECTADA
Pacient 1	-9,75	2,25	-3,5	11,75	-4,25	7,25	-6	10,5
Pacient 2	5	8,5	10,75	15,5	6,75	21,5	5,5	27
Pacient 3	-3,25	2,5	8,5	16,25	22,75	18,75	18,75	33,5
Pacient 4	-6,75	-10,25	4,75	-1,25	8,75	-0,5	9	3,5
Pacient 5	5,25	3,67	17,75	8,33	18,50	23,67	20,25	33,33
Pacient 6	-2,75	-0,25	14,5	8,5	17	5,75	15,75	8,25
Pacient 7	13	-0,25	27,5	6	24,25	9,75	23,5	10,5
Pacient 8	12,75	3,5	18,25	7,5	16,25	4	25	6,75

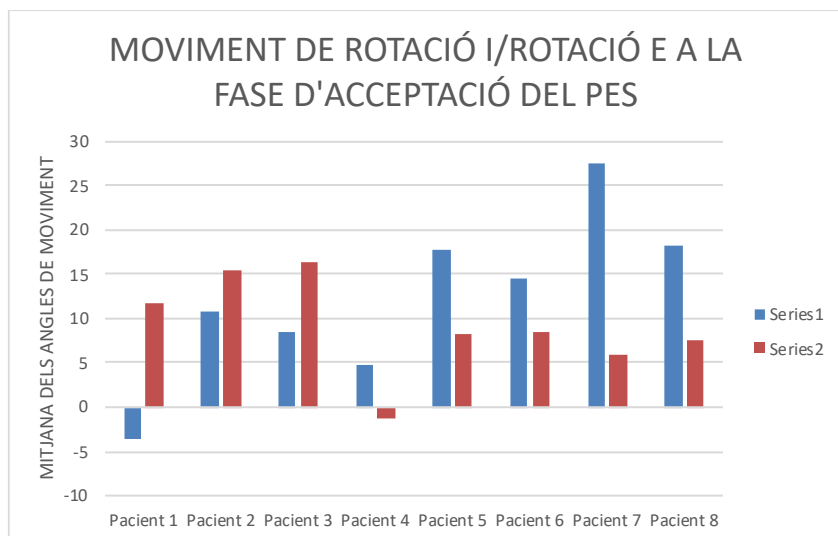
Taula 9. Taula resum del moviment de valgus/varum. Font pròpia.



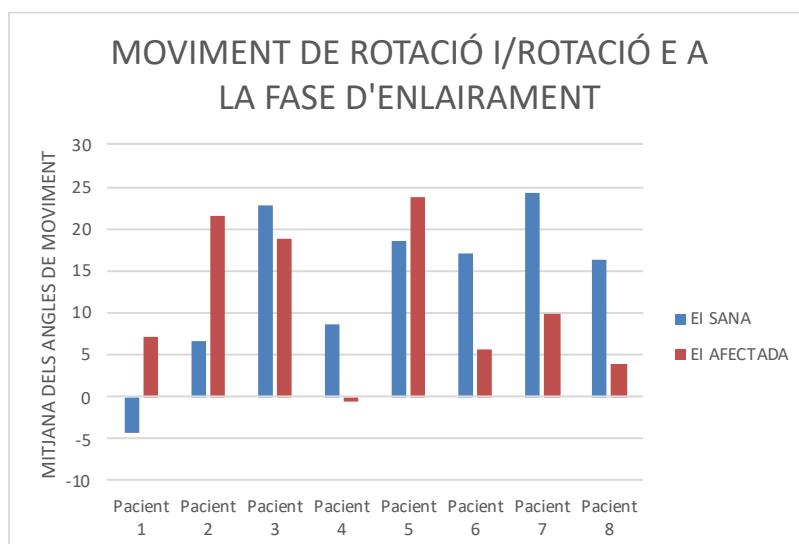
Gràfica 16. Agrupació de les dades del moviment de rotació interna/externa segons les fases del cicle de marxa en la baixada de graons. Font pròpia.



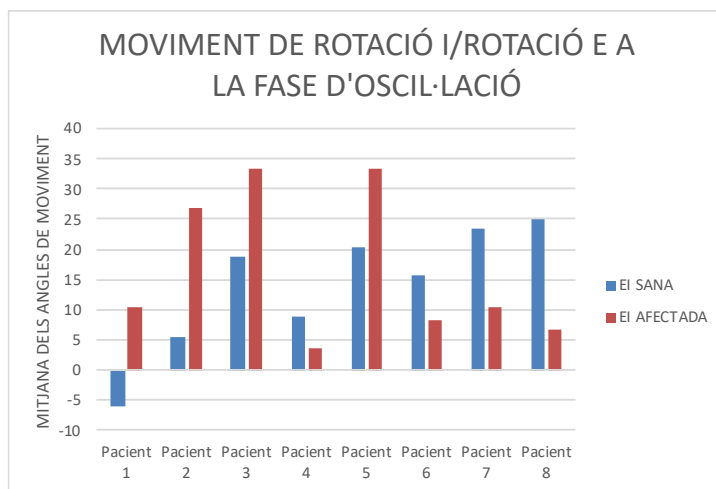
Gràfica 17. Moviment de rotació interna/externa a la fase de contacte inicial del peu. Font pròpia.



Gràfica 18. Moviment de rotació interna/externa a la fase d'acceptació del pes. Font pròpia.

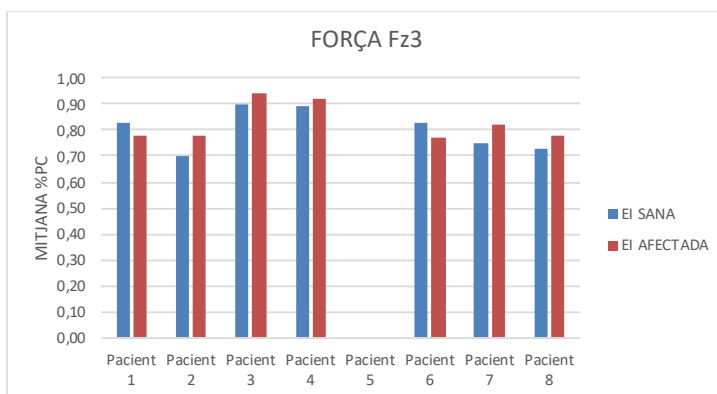


Gràfica 19. Moviment de rotació interna/externa a la fase d'enlairament. Font pròpia.

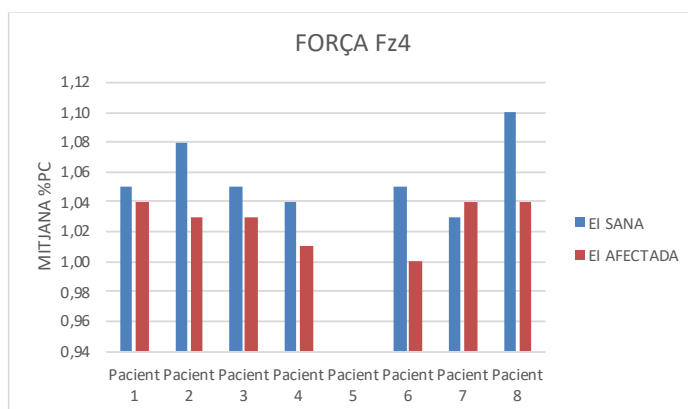


Gràfica 20. Moviment de rotació interna/externa a la fase d'oscil·lació. Font pròpia.

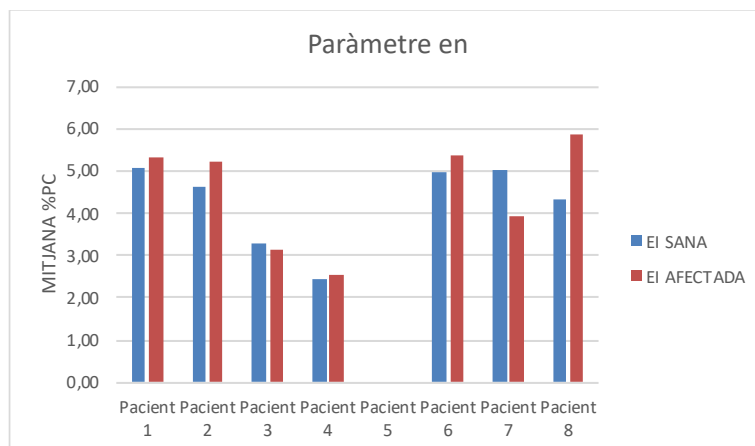
ANÀLISI CINÈTIC



Gràfica 21. Força Fz3 de cada pacient i extremitat. Font pròpia.



Gràfica 22. Força Fz4 de cada pacient i extremitat. Font pròpia.



Gràfica 23. Paràmetre en de cada pacient i extremitat. Font pròpia.