

2. ANÀLISI REGRESSIÓ LOGÍSTICA MÚLTIPLE.

2.1. Factors predictius a tenor dels resultats obtinguts ¹⁶

S'ha plantejat trobar els factors que estan associats a millors i a pitjors resultats. Per això, s'han definit els criteris que considerem com a bons i mals resultats i, per altra banda, s'han triat aquelles variables més representatives que puguin explicar per què alguns pacients han tingut uns resultats concrets.

Quatre criteris han estat triats com a bons resultats:

- a. Puntuació en satisfacció per part del pacient superior a 8 (en una escala de 0 a 10; 10 com a millor resultat).
- b. Puntuació en el test de Lysholm superior a 91 (sobre un total de 100).
- c. Puntuació en el test de Lysholm superior a 84 (sobre un total de 100).
- d. Absència de dolor fèmoro-patel·lar i a la interlínia interna en la revisió actual.

Les intervencions puntuades com a fracassos han estat les que no complien aquests criteris. El nivell de significació s'ha establert en una $p < 0.100$.

S'han definit unes variables explicatives per tal d'ajudar a diferenciar els fracassos dels èxits. Aquestes variables són les següents:

- Sexe (SEXE)
- Bilateralitat (BILAT)
- Subluxació prequirúrgica (LUX)
- Displàsia (DISPLASIA)
- Artrosi interlínia interna (ARTIINT)
- Artrosi fèmoro-patel·lar (ARTRFP)
- Dolor interlínia interna prequirúrgic (DOLIINT0)
- Dolor fèmoro-patel·lar prequirúrgic (DOLOR FP0)
- Edat (EDAT)
- Diferència d'alçada rotuliana (DROT)

¹⁶ Detalls referits a l'annex 3.

- Diferència d'angulació plat tibial (DPLATTIB)
- Diferència de la luxació rotuliana (DLUXROT)
- Diferència de la bàscula rotuliana (DBASCROT)
- Diferència de l'angle tibial anatòmic (DATA)
- Diferència de l'eix epifisari proximal tibial (DEEPT)
- Diferència de la interlínia (DINTERL)
- Diferència de l'eix fèmoro-tibial anatòmic (DEIXFTANAT)
- Angle d'osteotomia front (AOTFRONT)
- Angle d'osteotomia perfil (AOTPERF)
- Traslació anterior (TRASANT)
- Diferència de la longitud tibial (DLONGTIB)
- Diferència de la TAGT (DTAGT)
- Diferència de la torsió genoll (DTORSGEN)
- Diferència de la torsió tibial externa (DTTE)
- Diferència de l'anteversió femoral (DAF).

Millors Resultats:

Aquí incloem sols les variables explicatives que han estat significatives per cada un dels quatre criteris de bons resultats:

A) Satisfacció

	P (Significació)
Homes (SEXE)	0.020
Els que es subluxaven (LUX)	0.058
Els que tenen displàsia (DISPLASIA)	0.047
Els increments negatius de DEEPT	0.082
Els increments negatius de DFTanat ¹⁷	0.097

B) Puntuació escala de Lysholm >91

	P (Significació)
Els increments positius de bàscula rotuliana ¹⁸	0.003
Menor angulació de l'osteotomia en el perfil	0.087

C) Puntuació escala de Lysholm >84

	P (Significació)
Homes (SEXE)	0.009
No tenen dolor fèmoro-patel.lar abans cirurgia (DOLFP0)	0.012

D) Absència de dolor fèmoropatel.lar i a la interlínia interna (a la valoració actual)

	P (Significació)
Els que es subluxaven abans de la cir. (SUBLUX)	0.101
Els que tenen displàsia (DISPLASIA)	0.074
No tenen dolor fèmoro-patel.lar abans cirurgia (DOLFP0)	0.051

2.2. Equacions

A partir d'aquí i tenint en compte les dades recollides, s'ha provat d'establir equacions que ens expliquin el comportament matemàtic d'aquesta cirurgia, el més exactament possible, en quant a factors pronòstics. Les finalitats de l'equació són dues: per una banda descriure amb la major precisió els factors

¹⁷ La diferència mesurada és: valor actual-valor inicial . Si el valor de la diferència és més negatiu (abans>>després) indica que els més valgs després de la intervenció quirúrgica estan millor (EEPT i FTanatòmic).

¹⁸ La diferència mesurada és: valor actual-valor inicial. Els que tenen més bàscula que la mitjana general després de la intervenció quirúrgica, tenen millors resultats. És a dir, tots han disminuït la bàscula però els que la tenen menys disminuïda han millorat més que els altres.

que influeixen en els resultats, trobant el grup de variables predictores que ens permetin explicar una part substancial de la variació de la variable depenent (resposta, ja descrita segons els quatre criteris anteriors); per altra banda, trobar el model que permeti predir la resposta dels nous subjectes amb un mínim d'error possible. Les dues finalitats anteriors són contraposades, de manera que quan ajustem una més es desajusta l'altra. Ens proposem trobar un equilibri entre aquestes dues posicions. Per això hem establert un sistema de passes iteratives segons la *teoria de l'anàlisi de regressió logística múltiple*. Per a considerar com a aptes les variables a introduir a la subrutina hem establert com a punt de tall el nivell de $p=0.2$ ¹⁹.

MODEL A1 (SATISFACCIÓ>8) (Referència A1)

Millor puntuació els homes, casos amb displàsia i amb major edat.

$$Y = -0.472 + 1.347 * SEXE - 1.379 * DISPL + 0.049 * EDAT$$

La capacitat predictiva de la fórmula és de 71.9% (per tant, encerta quasi el 72% de les previsions que fa).

MODEL A2 (SAFISFACCIÓ>8) (Ref D1)

Millor els que es subluxen, els que no tenen dolor fèmoro-patel·lar en el preoperatori i en els que disminueix més la TAGT

$$Y = 1.579 - 2.119 * LUX + 1.880 * DOLFP0 - 0.357 * DTAGT$$

La capacitat predictiva de la fórmula és del 73.7%.

MODEL B (LYSHOLM>91) (Ref C2)

Millor les operacions bilaterals, amb més disminució de la EEPT i amb menys disminució de la bàscula.

$$Y = 1.425 - 2.401 * BILAT - 0.222 * DEEPT + 0.150 * DBASC$$

La capacitat predictiva de la fórmula és del 87.1%.

MODEL C1 (LYSHOLM>84) (Ref D3)

Millor homes i menys angulació de l'osteotomia en el perfil

$$Y = 1.105 + 10.679 * SEXE - 0.048 * OTERF$$

La capacitat predictiva de la fórmula és del 76.9%.

MODEL C2 (LYSHOLM>84) (Ref D3)

¹⁹ Dades de significació i taules estan especificades a l'annex 3.

Millor homes, no dolor a la fèmoro-patel.lar abans de la intervenció, disminució de DTTE (torsió tibial externa).

$$Y = -0.550 + 11.900 * SEXE + 11.572 * DOLFP0 - 0.008 * DTTE$$

La capacitat predictiva de la fórmula és del 88.9%.

**MODEL D (NO DOLOR FÈMORO-PATEL.LAR I NI A LA INTERLÍNIA INTERNA)
(Ref D4)**

Millor increment negatiu de la interlínia interna i de la luxació rotuliana

$$Y = 1.284 + 0.298 * DINTERL + 0.134 * DLUX$$

La capacitat predictiva de la fórmula és del 83.3%.

3. ANÀLISIS MULTIVARIANTS. ANALISIS DE COMPONENTS PRINCIPALS.

3.1. Introducció

L'objectiu de la tercera part de l'estudi consisteix en trobar les tendències que agrupen els nostres pacients segons les variables que hem considerat com a més significatives. Per això, han estat seleccionats 5 paquets de variables com a variables centrals (valoració del test de Lysholm, activitat esportiva, variables de medicions radiològiques, medicions TAC i d'altres determinacions radiològiques). També s'ha determinat una sèrie de variables explicatives que influeixen en les tendències citades.

S'ha realitzat una doble reducció del dimensionament. Per una banda, partim d'una taula de 57 individus i més de 200 variables i dividim els pacients en 5 tipologies diferents. S'ha utilitzat una significació inferior a 0.05. Per altra banda, s'ha fet una segona reducció del dimensionament al buscar les correlacions entre aquestes tipologies obtenint uns patrons o tendències. L'objectiu és trobar tendències d'associació entre aquestes tipologies. En aquesta segona anàlisi factorial s'ha utilitzat una $p < 0.1$ com a significativa (Figura 77).

El mètode estadístic utilitzat ha estat el de les anàlisis de components principals en el cas de les variables qualitatives i el de les anàlisis de components múltiples en el cas de les quantitatives.²⁰

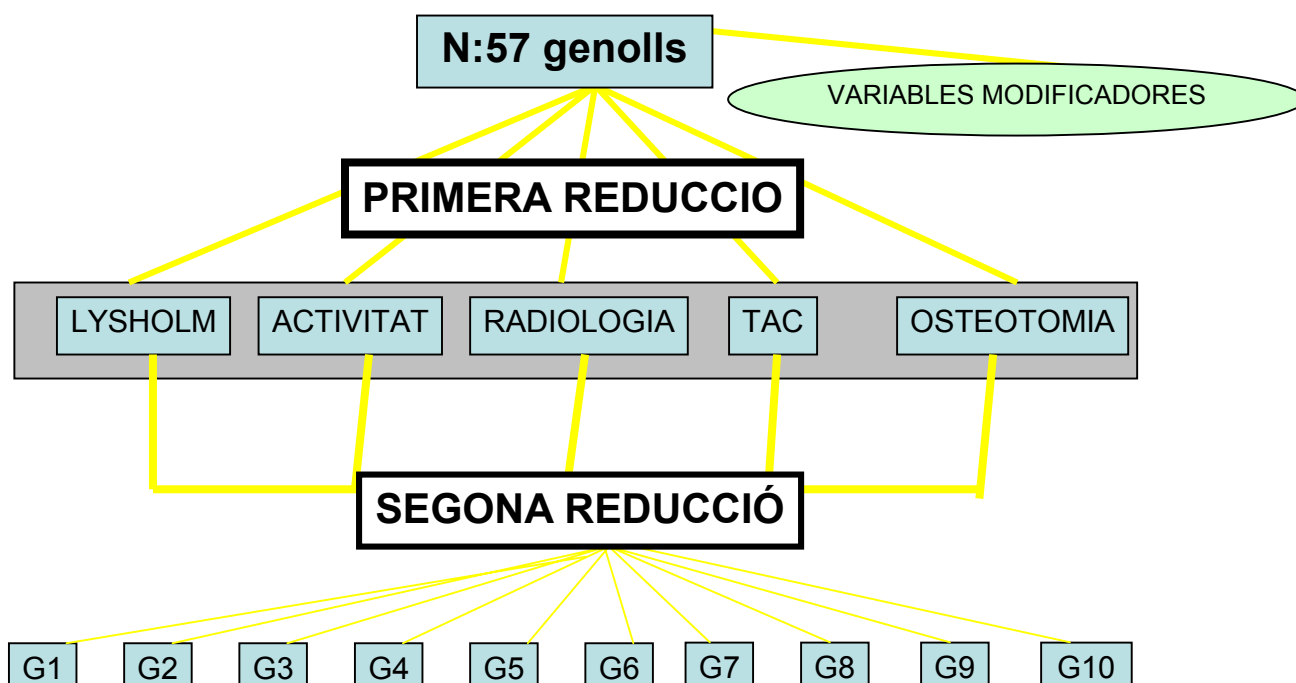


Figura 77. Esquema de les anàlisis de components principals i components múltiples: Primera reducció.

²⁰ Les bases teòriques i estadístiques estan explicades a l'apartat del Mètode. Els detalls analítics estan especificats en l'annex 4.

3.2. Divisió dels pacients en variables actives (tipologies inicials) (Figura 22)

3.2.1. Valoració Lysholm:

Està representada per 8 variables definides com a diferències entre la situació en la revisió i la situació en el preoperatori dels diferents paràmetres. S'han tractat totes com a quantitatives, és a dir, restant directament els valors de les diferents puntuacions.²¹

Lysholm (4 classes)

I: (N: 21)²² són els que han millorat més en el vessament, el bloqueig i la inestabilitat.

II: (N: 4) són els que han millorat més en la coixesa i dificultat en posar-se a la gatzoneta.

III: (N: 4) són els que han millorat més en el dolor i altres variables com problemes amb les escales, necessitat de croses i presenten també millors resultats que la mitjana en coixesa i inestabilitat.

IV: (N: 25) són els pacients amb una millora dels resultats inferior a la millora mitjana en totes les variables diferencials (excepte la necessitat de croses que és com la mitjana general).

3.2.2. Activitat esportiva

Aquest paquet està representat per 5 variables: activitat esportiva abans i després de la cirurgia, grau d'activitat esportiva abans i després de la cirurgia i diferència d'activitats esportives entre abans i després de la intervenció.

Activitat (6 classes)

I: (N: 2) pacients federats o professionals abans i després de la cirurgia.

II: (N: 18) nivell d'activitat esportiva abans i després de la cirurgia amateur, activitat esportiva abans i després de la cirurgia tipus pivot. Després de la cirurgia fan el mateix nivell esportiu que abans.

III: (N: 4) pacients que fan menys activitat després que abans de la cirurgia per motius mèdics.

²¹ Les puntuacions dels paràmetres Lysholm estan especificades a l'annex 1.

²² n: 21 indica el nombre de pacients respecte el total, és a dir, sobre 57.

IV: (N: 13) pacients que tenen una activitat esportiva de pivot amb contacte abans i després de la cirurgia i ara fan més esport que abans de la cirurgia.

V: (N: 10) pacients que tenien abans i després de la cirurgia una activitat esportiva antigrauitatòria o caminar i que després de la cirurgia fan menys esport que abans per motius extramèdics.

VI: (N: 10) no realitzen cap activitat esportiva ni ara ni abans.

3.2.3. Variables TAC

Representat per 4 variables: Anteversió femoral, Torsió tibial externa, TAGT, Torsió al genoll (Variable diferencial: valor final-valor inicial)²³

TAC (3 classes) (total: 27 genolls)

I: (N: 9) Han augmentat la torsió al genoll amb la cirurgia.

II: (N: 14) Els valors de la TAC són com la mitjana general.

III: (N: 4) La TAGT ha disminuït més amb la intervenció.

3.2.4. Variables paràmetres radiològics

Representat per 4 variables.

Són totes variables diferencials quantitatives (situació actual-situació preoperatòria): angle tibial anatòmic, eix epifisari proximal tibial, eix fèmoro-tibial anatòmic i mecànic²⁴.

Radiologia (3 classes)

I: (N: 13) correcció diferencial superior a la mitjana general en els quatre paràmetres (per tant, més valgus).

II: (N: 9) correcció de la tibia menys important que la mitjana general (per tant, menys valgus mesurat en angle tibial anatòmic i EEPT).

III: (N: 17) menys correcció dels eixos de l'extremitat que la mitjana general (per tant, menys valgus mesurat en els eixos lcatme i fèmoro-tibial anatòmic).

²³ Tal com s'ha indicat en l'apartat de mètode s'ha menyspreat els casos bilaterals, per tant partim de 33 pacients en total.

²⁴ Si la diferència augmenta hi ha més valgus en la situació postoperatòria en tots els casos llevat en el cas de l'angle fèmoro-tibial mecànic.

3.2.5. Variables referents a osteotomia i altres valoracions radiològiques

Representat per 6 variables: angle de l'osteotomia en el pla frontal, angle de l'osteotomia en el pla de perfil, translació anterior, existència de displàsia, artrosi fèmoro-patel·lar, artrosi a la interlínia interna. Es tracten com a qualitatives (les tres primeres amb més de dos categories i les tres darreres com a dicotòmiques)

Distribució per intervals:

- Angle de l'osteotomia en el pla frontal: Negatiu, 1-5°, 6-10°, 10-30°
- Angle de l'osteotomia en el pla de perfil: Negatiu, 1-10°, 11-20°, 21-35°
- Translació anterior: Negativa, 1-5 mm, 6-12 mm

Osteotomia (5 classes)

I: (N: 13) angle de l'osteotomia de perfil tipus IV (molta angulació) i angle de l'osteotomia del front tipus II (1°-5°).

II: (N: 28) angle de l'osteotomia de front tipus III (6-10°).

III: (N: 6) angle de l'osteotomia de front tipus I (negatiu).

IV: (N: 4) angle de l'osteotomia de perfil tipus I (angulació negativa).

V: (N: 6) més artrosi fèmoro-patel·lar que la mitjana.

En la segona fase de l'anàlisi s'ha buscat la modulació que les variables explicatives podien provocar sobre les tipologies inicials. Com a variables explicatives s'ha considerat: sexe, lateralitat, bilateralitat, edat intervenció, indicació del pacient, causa última cirurgia, dolor fèmoro-patel·lar, dolor interlínia interna, luxació ròtula, tipus de peu, satisfacció (total: 11 variables) (Figura 78).

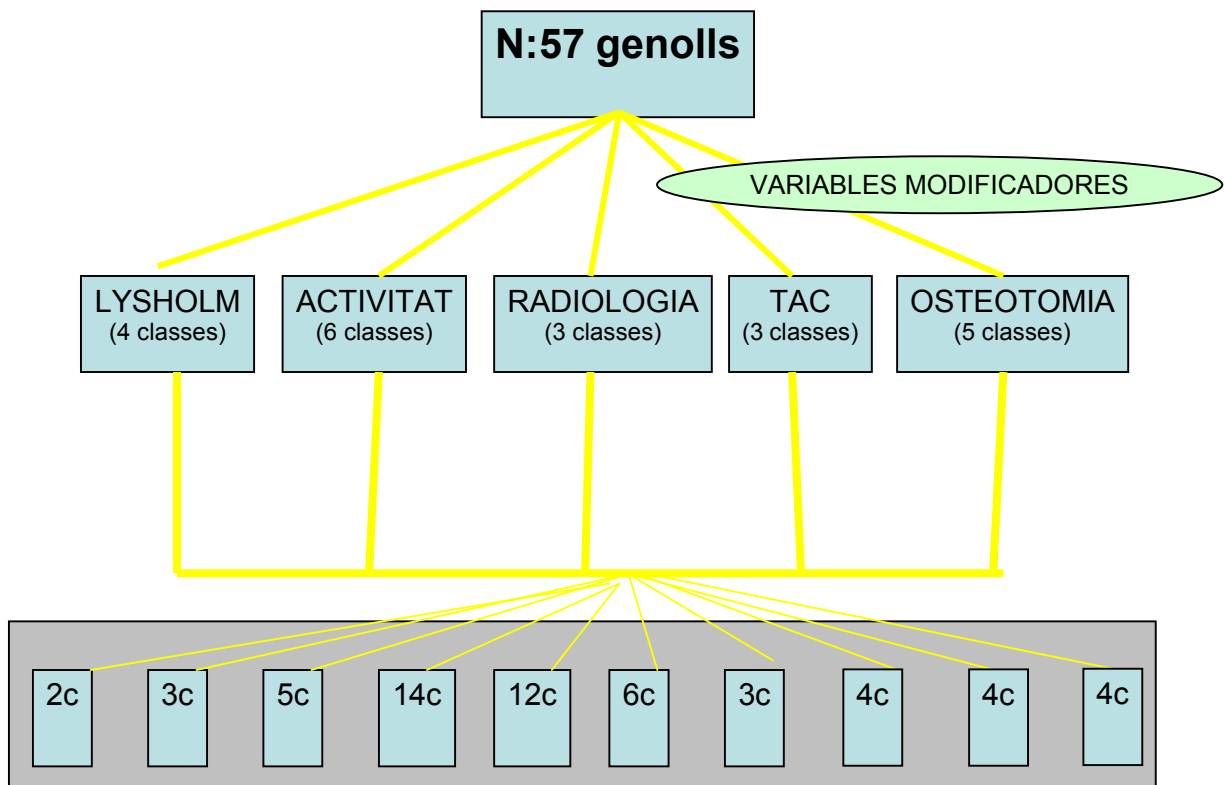


Figura 78. Esquema de les anàlisis de components principals i components múltiples: Segona reducció.

3.3. Tipologies finals (10 grups)

És sensat pensar que les cinc tipologies creades no són independents, és a dir, que existeixen associacions. Per això es realitza una anàlisi de correspondències múltiples.

S'ha obtingut un model possible tenint en compte el fet de disposar d'un espai que ens representés, almenys, el 80% de la inèrcia inicial, tal com s'indicava en l'apartat del mètode estadístic. S'ha treballat amb una significació inferior al 0.1 (ja que és una anàlisi qualitativa aproximada que tant sols indica unes tendències orientatives).

Model de 10 classes (n:57)

I (2 genolls)

Pacients federats o professionals abans i després de la cirurgia i que ara realitzen més esport que abans. L'angulació de l'osteotomia en el perfil és molt alta (21°-35°) i la del front de 1°-5°. El seguiment mig és superior a la mitjana (12.5 anys).

II (3 genolls)

Presenten unes mesures semblants a les mitjanes generals. Malgrat això, ara fan menys activitat que abans de la cirurgia per motius extramèdics i l'angulació en el pla anterior és de 1°-5°. Els seguiment mig és superior a la mitjana (11.5 anys). Són pacients molt satisfets.

III (5 genolls)

Tant abans com ara són pacients sedentaris. La millora dels resultats és inferior a la mitjana en tots els paràmetres del test de Lysholm (excepte en la necessitat de crosses) i són operats d'un sol genoll. El seguiment mig és superior a la mitjana (11 anys).

IV (14 genolls)

Pacients esportistes que feien esport de pivot o contacte i el continuen fent tot i que han augmentat el grau d'activitat física. Predominen les dones operades dels dos genolls i es van intervenir per deformitat important amb poca clínica. Són els que han tingut una millora en els paràmetres Lysholm més petita (partien de valors molt alts). No presenten artrosi fèmoro-patel·lar actualment. Les angulacions de l'ostetomia són de 21°-35° en el perfil i de 10°-30° en el pla anterior. L'eix mecànic de l'extremitat inferior s'ha corregit més que la mitjana i cap a posicions més valgues. L'angle tibial anatòmic inicialment estava també més valgus però s'ha corregit cap a posicions més valgues que la mitjana. L'eix fèmoro-tibial anatòmic estava inicialment més varus que la mitjana.

V (12 genolls)

Aquests pacients realitzaven una activitat física antigravitatòria o de caminar tipus amateur tant abans com després de la cirurgia, tot i que han disminuït l'activitat per motius extramèdics. Es van operar per història de dolor a la fèmoro-patel·lar i presentaven històries de luxació o subluxacions prèvies de la ròtula. Són els que han millorat més el vessament, el bloqueig i la inestabilitat amb la cirurgia. La correcció angular de la tibia ha estat menys important que la mitjana general (per tant, tenen menys valgus els eixos tibials anatòmics i l'eix epifisari proximal tibial). L'eix mecànic de l'extremitat inferior estava inicialment menys varus i la correcció valguitzant ha estat inferior a la mitjana. Per altra banda, el valor de la variable TAGT del costat operat ha estat superior a la mitjana.

VI (6 genolls)

Són pacients homes que realitzaven esport amateur tipus pivot. No presentaven dolor a la fèmoro-patel·lar abans de la cirurgia i es van operar per

presentar una gran deformitat amb poca clínica. Presenten una angulació en el pla anterior negativa. Inicialment, l'eix epifisari proximal tibial estava més varus que la mitjana.

VII (3 genolls)

Són pacients que feien i fan esport a nivell amateur tipus pivot i amb la cirurgia mantenen el mateix nivell esportiu. Es van operar per dolor a la interlínia interna. Aquests són els pacients que més han millorat el dolor i altres paràmetres (escales, crosses, coixesa i inestabilitat). L'angulació de l'osteotomia en el front és negativa. Inicialment, l'eix fèmoreo-tibial anatòmic de l'extremitat estava més varus.

VIII (4 genolls)

Són pacients que ara fan el mateix esport que abans tot i que ara presenten artrosi fèmoreo-patel·lar. La TAGT ha disminuït més que la mitjana amb la cirurgia. La TTE final és inferior a la mitjana.

IX (4 genolls)

Aquests pacients s'han operat més grans que la mitjana i fan el mateix esport que abans. Han millorat més de coixesa i dificultat en posar-se a la gatzoneta que la mitjana. S'han corregit els eixos de l'extremitat menys que la mitjana (menys valgus en els eixos ícatme i fèmoreo-tibial anatòmic). Inicialment tenien un eix mecànic de l'extremitat menys varus. L'angulació de l'osteotomia de el pla anterior és de 6°-10°. La TAGT ha disminuït menys que la mitjana amb la cirurgia.

X (4 genolls)

Aquests pacients s'han operat més grans que la mitjana. Abans feien esport tipus pivot-contacte però ara fan menys esport que abans per motius mèdics i tenen pitjors resultats en totes les valoracions Lysholm (excepte necessitat de crosses). Es van operar per dolor diari. Ara tenen més artrosi fèmoreo-patel·lar que la mitjana. La TAC s'ha modificat com la mitjana general. L'osteotomia en el pla anterior és de 10°-30°.

4. FORMULACIÓ MATEMÀTICA DE L'OSTEOTOMIA

4.1. Introducció

En la realització d'una osteotomia inclinada, des del punt de vista matemàtic, partirem de certs objectes bàsics: un eix que representarà la tibia, un pla on es realitzarà el tall i diferents paràmetres com són la desviació que pateix l'eix de la cama, la torsió i, probablement algun altre propi de la forma de l'os.

Així, s'ha construït un model matemàtic que regula aquests paràmetres i que ens permet, a partir de les condicions inicials, saber quin tipus de gir i de tall hem de realitzar per aconseguir els resultats desitjats.

Són molts els factors que intervenen en aquesta operació i que no es poden regular des d'un punt de vista matemàtic per la seva dependència tant de la morfologia de l'os com del propi procediment.

Expliquem breument quins seran els paràmetres inicials amb què treballarem i com entendrem matemàticament aquesta operació.

4.2. Determinació del moviment

4.2.1. Pla de tall

Considerem inicialment els eixos horitzontals, verticals i sagitals. Aquí cal definir el pla per on farem el tall. Per determinar un pla ens calen 2 paràmetres (angles). Aquests, els obtindrem a partir del vector normal al pla (vector perpendicular) ja que aquest el determina unívocament (Figura 79).

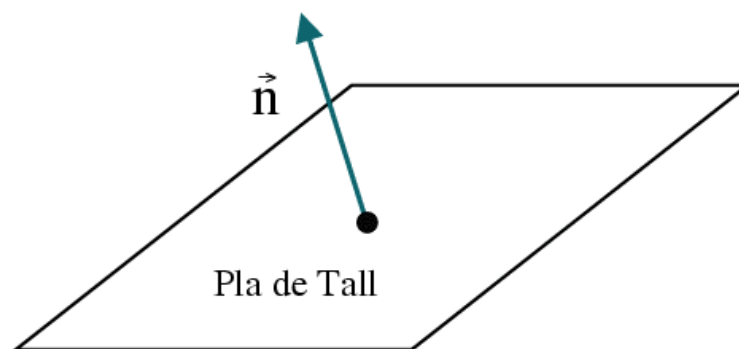


Figura 79

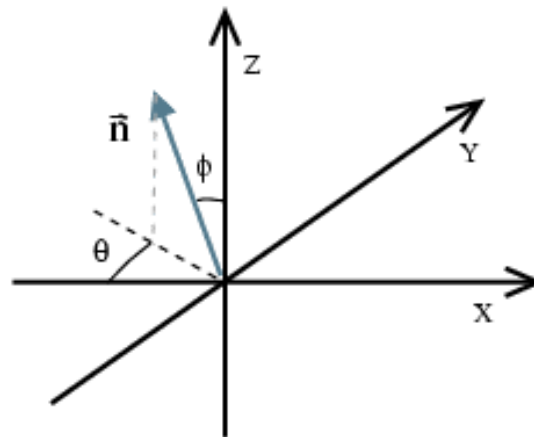


Figura 80

Veiem, a la figura 25, quin és aquest vector i com el representem a l'espai. Els angles que el determinen els anomenarem Φ i θ , com es pot veure a la figura 80. Φ és la inclinació del pla de tall respecte al pla horitzontal. Aquesta inclinació cal observar-la sobre el pla M . M és el pla perpendicular al pla horitzontal i que forma θ graus amb el pla frontal. Una altra manera de veure M , és com el pla que conté Φ i θ . Observem més detingudament a les figures 81 i 82 següents com determinem el pla M i com es representa la inclinació del pla de tall en aquest.

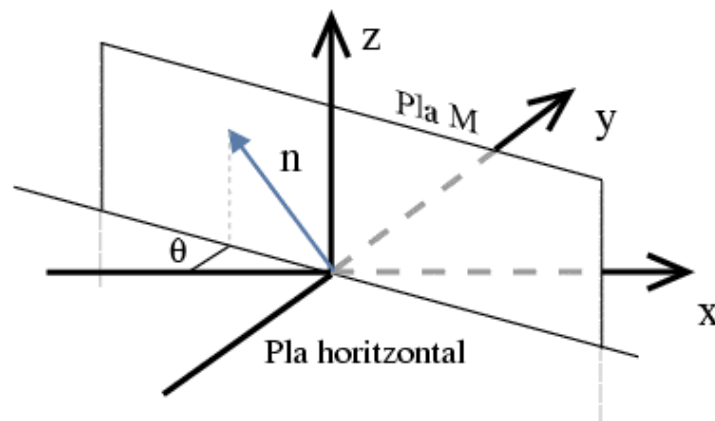


Figura 81

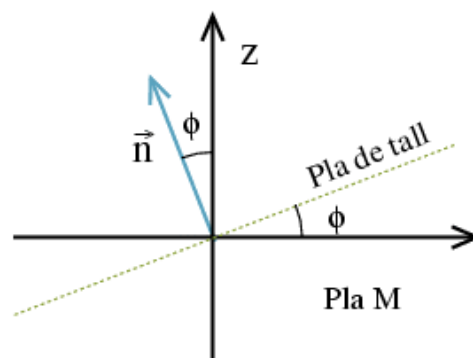


Figura 82

Observem que Φ és la inclinació que considerem habitualment però vista sobre un pla lleugerament inclinat al pla frontal. Així l'angle θ ens permet donar una inclinació del pla no només de dreta a esquerra sinó també de davant a darrera.

4.2.2. Matrius

Per a tractar matemàticament aquest pla, utilitzarem una base ortonormal de l'espai que tingui com a eix vertical el vector \vec{n} . Aquesta l'obtidrem traslladant la base canònica usual $\{i, j, k\}$. Primer girem Φ graus fixant l'eix k i després θ graus fixant l'eix i . Això ho podem fer amb les matrius següents:

$$A_\phi = \begin{pmatrix} \cos \phi & 0 & -\sin \phi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \phi & 0 & \cos \phi \end{pmatrix}, \quad A_\theta = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Un cop definit el pla de tall, hem de fer un gir d' α graus al voltant de l'eix \vec{n} . Això ho entendrem com fer girar l'os fent lliscar la part on hem fet el tall en la direcció marcada per la figura 83.

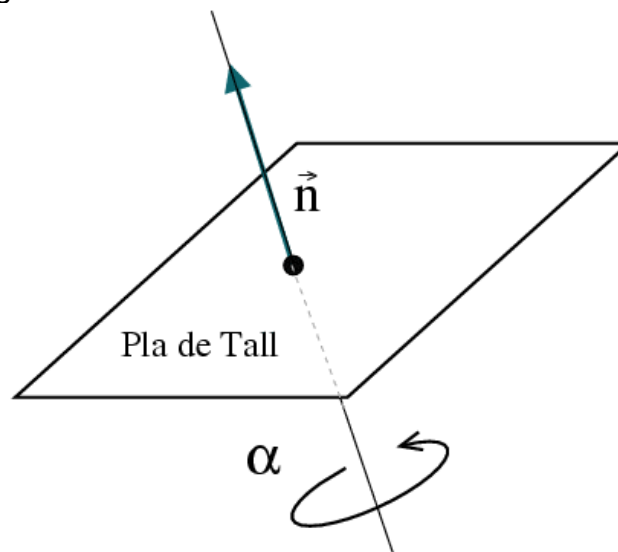


Figura 83

Així per aconseguir el moviment complet que representa l'operació, hem de traslladar un gir d' α graus al pla horitzontal, a un gir al pla de tall; prenem $B=A\theta A\Phi$ i tindrem que la matriu que ens representarà el gir desitjat a l'espai ve donada per

$$G = B \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} B^{-1}.$$

Cal tenir en compte que representarem l'os com a un semieix (vector) a l'espai, i després ens interessarem per l'angle que formarà aquest amb altres eixos, el punt des del qual es realitza el gir ens serà indiferent sempre i quan els

elements de referència es trobin al mateix semi-espai. És a dir, donat que només girem la part inferior del tall, les mesures s'han d'aplicar sempre a les parts afectades pel gir.

4.2.3. Elements de referència

Un cop tenim la matriu del gir, hem d'aplicar aquest moviment als objectes adequats, és a dir, hem de definir un vector que ens determini la posició de la tibia per tal de determinar l'angulació obtinguda, i un altre que ens controli la rotació (Figura 84).

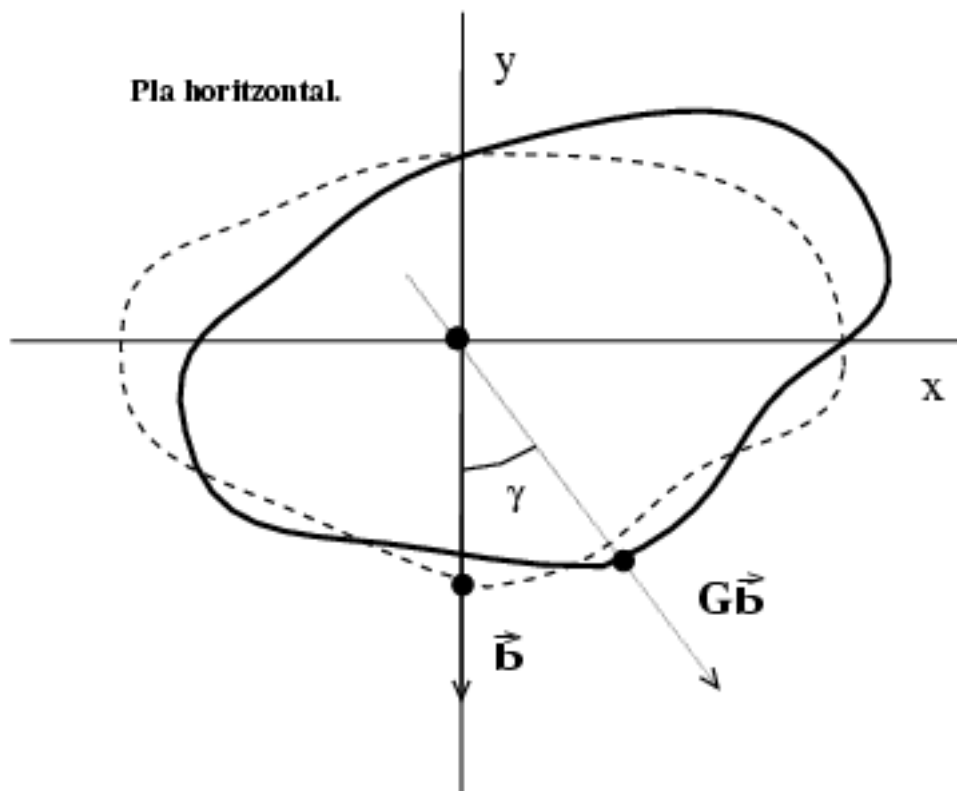


Figura 84

Per a controlar la rotació, simplement prenem un vector al pla horitzontal per exemple $\vec{b} = (0, -1, 0)$ situat a l'eix de les y 's. I mirem la seva posició després del gir G , tal i com mostra la figura.

El vector que ens definirà la posició de la tibia podem prendre $\vec{g} = (0, 0, -1)$ ja que el fet de que el gir es realitzi, no des de l'eix de l'os, sinó des d'un lateral, no afecta gaire el resultat final. De fet, es pot observar a l'os una lleugera desviació entre l'eix superior de l'os i la punta inferior d'aproximadament 3 graus que col·loca aquesta a l'eix de les z 's. Això fa que els resultats no difereixin gens fent aquesta suposició. Ara, hem d'estudiar l'angle que forma aquest vector amb G .

4.2.4. Fórmules

A partir dels vectors posició dels elements anteriors podem, doncs, obtenir tota la informació respecte la seva posició.

Ens interessa com hem dit, l'angle que forma amb l'eix horitzontal la projecció del vector G per a calcular l'angulació i l'angle de la projecció al pla horitzontal de G per a calcular la rotació que s'efectua.

Així, la fórmula que ens donarà l'angulació resultant, la podem trobar a partir de les components de G . Així, la variació de l'angle de la tibia al pla frontal (β) en funció de θ , Φ i α vindrà donada per:

$$\arctan\left(\frac{\frac{1}{2}\sin 2\phi \cos \theta(\cos \alpha - 1) + \sin \alpha \sin \theta \sin \phi}{\cos \alpha + \cos^2 \phi(1 - \cos \alpha)}\right).$$

Similarment, la fórmula que ens donarà el valor de la rotació la podem trobar a partir de les components de G . La rotació que obtindrem al pla horitzontal o transversal, i que anomenarem angle vertical (γ), en funció de θ , Φ i α , ve donada per:

$$-\arctan\left(\frac{\frac{1}{2}\sin(2\theta)(1 - \cos \alpha) \sin^2 \phi + \cos \phi \sin \alpha}{(\cos \alpha - 1) \sin^2 \phi \sin^2 \theta - \cos \alpha}\right).$$

Observem, també, que la tibia no es desplaça dins el pla frontal, sinó al voltant d'un con. Això fa que també hi hagi una variació de l'angulació de la tibia respecte l'eix original, al pla de perfil. Aquesta variació la podem controlar mitjançant la projecció al pla de perfil del vector G . La variació d'aquest angle, que anomenarem angle lateral (λ)²⁵, en funció de θ , Φ i α ve donat per:

$$\arctan\left(\frac{\frac{1}{2}\sin(2\phi) \sin \theta(\cos \alpha - 1) - \sin \phi \sin \alpha \cos \theta}{-\cos \alpha + \cos \phi(\cos \alpha - 1)}\right).$$

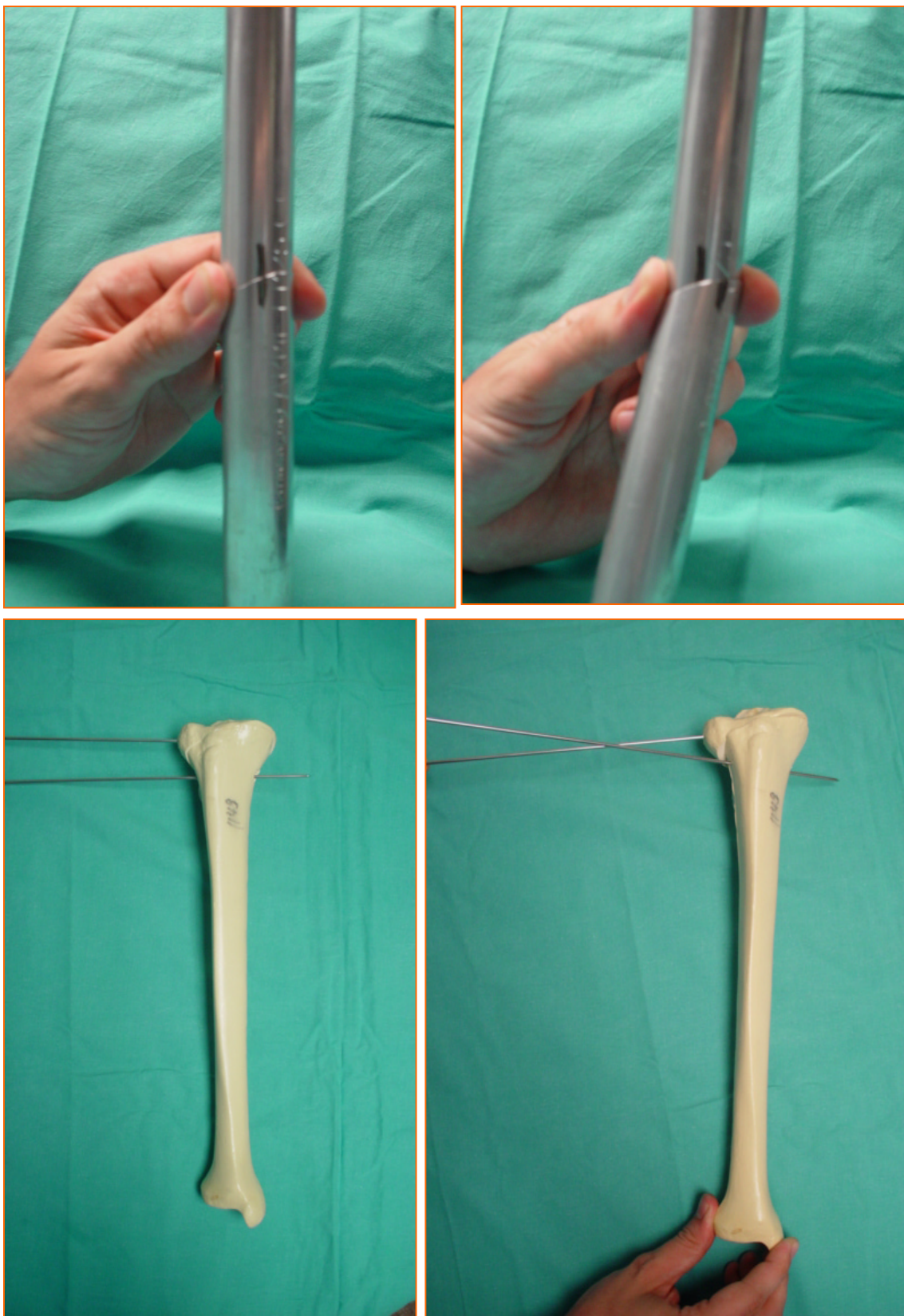
Recordem quins són els paràmetres de què depenen aquestes fórmules:

θ · Angle que determina la inclinació del pla perpendicular al pla de tall i al pla horitzontal.

Φ · Angle que ens determina la inclinació del pla de tall, projectat sobre el pla anterior.

α · Gir aplicat.

²⁵ Per tant, el planell fictici creat sobre el que girarà el nostre cilindre estarà definit per les coordenades β , γ i λ .



Figures 85 i 86: Models que utilitzen el cilindre per explicar el comportament de l'osteotomia valgaderrotativa del genoll. Model d'un os de plàstic on s'observa que les agulles de Kirschner paral.leles convergeixen al realitzar la maniobra, fet que explica el valgus que s'obté.

4.2.5. Observacions a les fórmules.

El primer que cal observar és per què introduïm 2 angles per a definir el pla de tall en comptes d'una sola inclinació respecte a un pla frontal.

Per a veure això, recordem el procediment teòric en el qual es basa aquest procés. Suposem que tenim un cilindre i que a aquest li fem un tall inclinat tal i com mostra la figura de l'esquerra. Si realitzem un gir de la part inferior fent lliscar les parts que hem tallat, aleshores, en funció de la inclinació del pla de tall inicial, i de la rotació que hi apliquem, la part inferior del cilindre s'inclinarà d'una o altra manera, tal i com veiem a la figura de la dreta (Figures 85, 86 i 87).

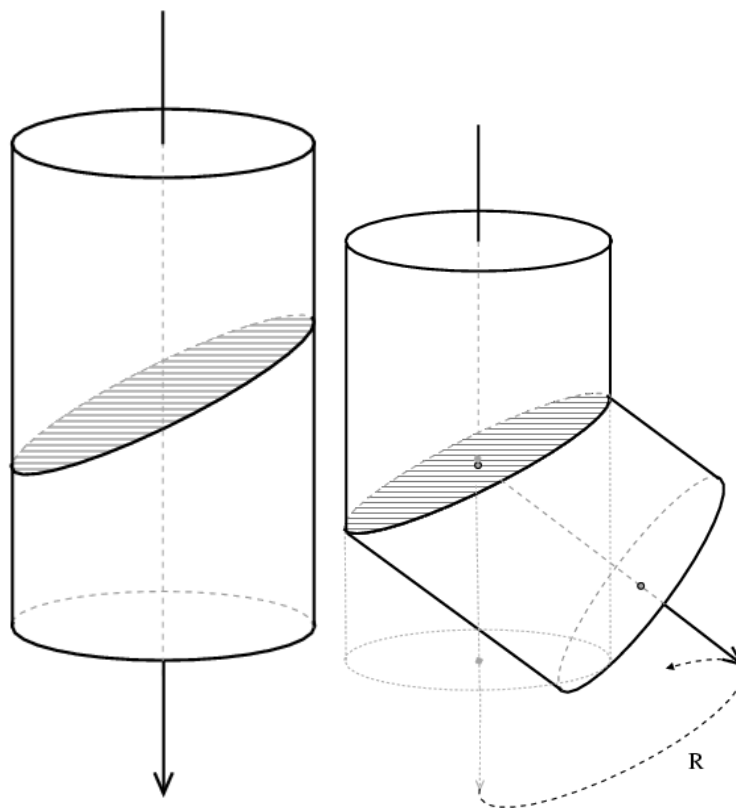
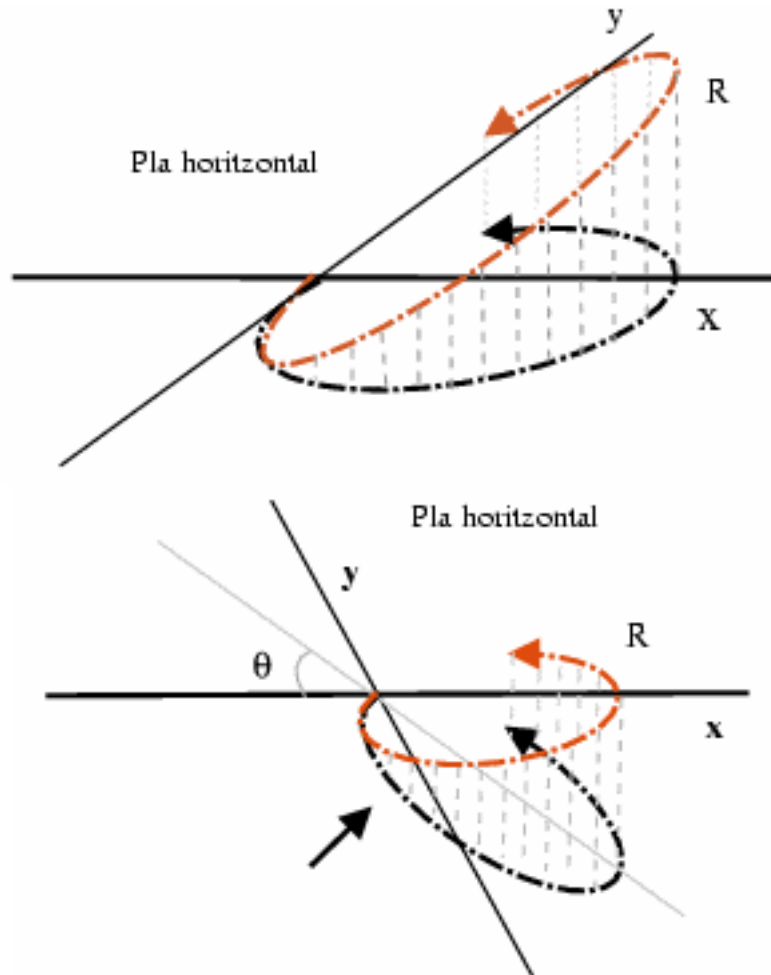


Figura 87

Veiem que l'eix del cilindre recorre una circumferència, que hem marcat com a R al gràfic superior, que es troba sobre un pla paral·lel al pla de tall. Aquest recorregut és el que ens aportarà la informació sobre com varia la posició del cilindre.

Intentem doncs traslladar aquest model al nostre cas. El primer que caldrà fer és donar-li una orientació. Si realitzem el tall inclinat de dalt a baix com el de la primera figura dels cilindres, i perpendicular al pla frontal, és clar que la cama es desplaçarà cap a la dreta. A la Figura 7 podem veure marcat el recorregut R i com la projecció d'aquest, es manté sempre al semiplà $x > 0$. D'altra banda si fem variar la inclinació posterior del pla de tall, el recorregut de l'eix de la cama serà tal i com mostra la Figura de la dreta, de tal manera que la projecció al pla

horitzontal d'aquest, seguirà una el·lipse amb el diàmetre menor sobre l'eix determinat per l'angle θ . Això permet obtenir una posició de la tibia al semiplà $x < 0$ durant el primer tram del recorregut R (Figures 88 i 89).



Figures 88 i 89

Veiem això mateix a partir de les fórmules obtingudes. Prenem per exemple la projecció al pla horitzontal del recorregut marcat per un punt determinat de l'eix de l'os, fixada una inclinació Φ de 45 graus i per a diferents valors de θ . Podem veure com a mesura que θ augmenta, l'el·lipse que se'ns dibuixa es trasllada cap a l'esquerra de tal manera que el primer tram del recorregut ens dona correccions de l'angulació cap a l'esquerra (Figura 90).

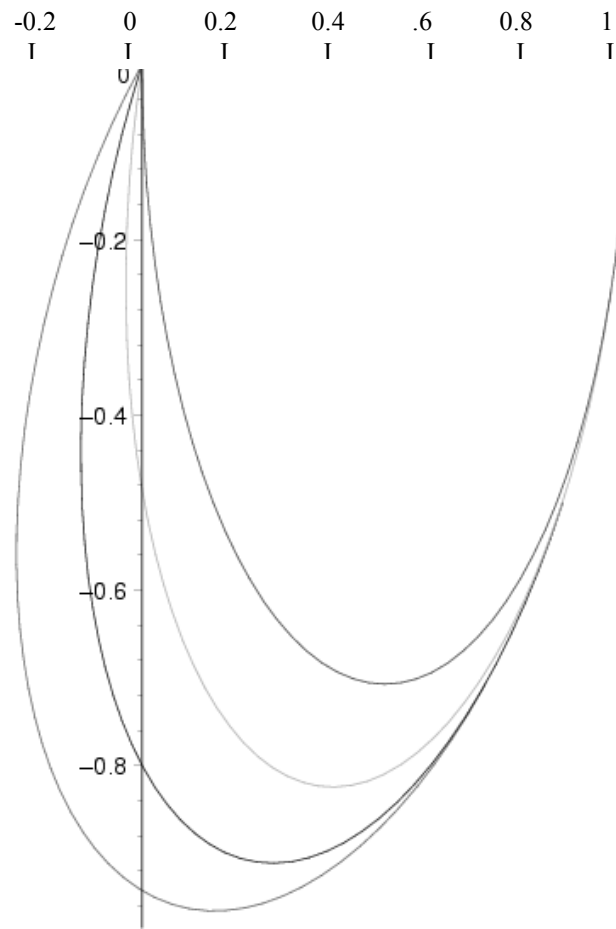


Figura 90

Ja que tractarem amb valors petits a corregir, això serà suficient. Al mateix temps, podem veure a les taules de l'annex 5 com a l'augmentar θ , els valors de l'angle de perfil es fan més petits. No és convenient tampoc accentuar molt aquest valor. Així doncs, estudiarem els resultats obtinguts a partir de diferents valors de l'angle θ .

4.3. Càlcul invers

A partir de les fórmules obtingudes, podem donar taules de valors per a determinats tipus de talls i de gir, al mateix temps, ens podem plantejar la resolució del problema de manera inversa, és a dir, a partir d'una rotació γ i una angulació ψ donades, trobar els valors de θ , Φ i α que ens permeten aconseguir aquests resultats. En aquest cas partim de 2 valors donats i tenim 3 indeterminats, això fa que la solució no sigui única, tot i que en molts casos

tampoc tenim solucions factibles, exigeixen un valor de θ i α molt elevat o simplement no existeixen.²⁶

Fem doncs algunes observacions a les fórmules obtingudes al temps que presentem taules de valors (annex 5).

4.3.1. Angle lateral

Abans hem observat que hi ha una variació de l'angle al pla de perfil que en principi no és desitjada. Podem veure a les taules de valors com a l'augmentar Φ la variació de l'angle lateral es fa més accentuada. Al mateix temps, al variar θ , veiem com cada cop obtenim valors més petits d'aquest angle. Això ho podem veure reflectit en aquesta gràfica que ens mostra com varia l'angle lateral en funció del gir aplicat α , les corbes inferiors corresponen a valors més grans de θ (Figura 91).

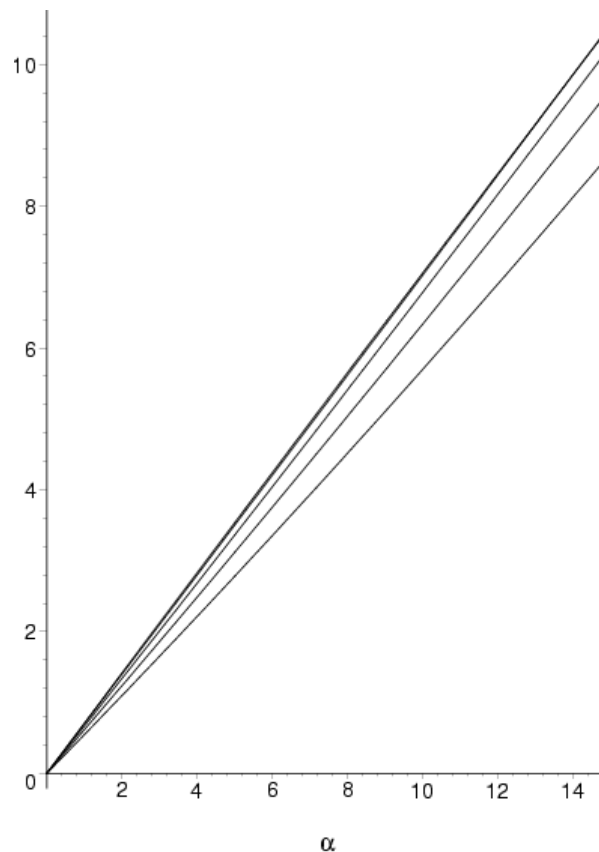


Figura 91

Aquesta és doncs una altra raó per a la necessitat d'introduir l'angle θ , que en certa manera, tendeix a compensar la variació al pla de perfil.

²⁶ Les taules generades a partir d'aquestes fórmules es troben especificades a l'annex 5.