



L'allineamento del ginocchio artrosico si modifica significativamente nel movimento di flessione-estensione: studio retrospettivo basato sulla chirurgia computer-assistita

The osteoarthritic knee alignment changes significantly during flexion: a retrospective study based on CAS data

Alvise Saracco¹ (foto), Francesco Verde¹, Charles Riviere², Loic Villet²

¹ Chirurgia Mininvasiva e Robotica di Anca e Ginocchio, IRCCS San Raffaele, Milano; ² Bordeaux Arthroplasty Research Institute, Centre de l'Arthrose Bordeaux, Merignac, France

Ricevuto: 28 settembre 2020
Accettato: 30 aprile 2021

Corrispondenza

Alvise Saracco
IRCCS San Raffaele, Milano
E-mail: saraccoalvise@gmail.com

Conflitto di interessi

Gli Autori dichiarano di non avere alcun conflitto di interesse con l'argomento trattato nell'articolo.

Come citare questo articolo: Saracco A, Verde F, Riviere C, et al. L'allineamento del ginocchio artrosico si modifica significativamente nel movimento di flessione-estensione: studio retrospettivo basato sulla chirurgia computer-assistita. Giornale Italiano di Ortopedia e Traumatologia 2023;49:37-44; <https://doi.org/10.32050/0390-0134-N259>

© Copyright by Pacini Editore Srl



OPEN ACCESS

L'articolo è OPEN ACCESS e divulgato sulla base della licenza CC-BY-NC-ND (Creative Commons Attribuzione – Non commerciale – Non opere derivate 4.0 Internazionale). L'articolo può essere usato indicando la menzione di paternità adeguata e la licenza; solo a scopi non commerciali; solo in originale. Per ulteriori informazioni: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.it>

Riassunto

Background. Il ginocchio artrosico viene tradizionalmente valutato preoperatoriamente in maniera statica attraverso una radiografia del ginocchio in estensione e un'eventuale radiografia panoramica degli arti inferiori, assumendo che l'allineamento riscontrato in estensione venga mantenuto durante il movimento di flessione.

Obiettivi. Lo scopo del nostro studio è stato analizzare il comportamento del ginocchio artrosico sul piano coronale durante il movimento di flessione-estensione, valutandone l'allineamento e l'eventuale presenza di deformità in varo/valgo.

Metodi. Sono stati oggetto del nostro studio 206 pazienti affetti da gonartrosi primaria, operati di protesi totale di ginocchio computer-assistita, di cui abbiamo valutato l'asse sul piano coronale in posizione estesa, a 90° di flessione e in flessione massima, attraverso l'angolo anca-ginocchio-caviglia (HKA). Tali parametri sono stati valutati durante la navigazione (intervento di protesi totale di ginocchio) prima dell'esecuzione dei tagli ossei e di eventuali release capsulo-legamentosi.

Risultati. Un'ampia percentuale di pazienti con gonartrosi ha mostrato una variazione significativa dell'allineamento degli arti inferiori (32% con Δ HKA > 5°). La deformità del ginocchio esteso tendeva a ridursi con la flessione: una media di 5° e 6° di riduzione della deformità per i pazienti in varo e valgo rispettivamente, il 40% e il 66% dei pazienti rispettivamente in varo e valgo è progredito verso l'allineamento neutro con una flessione del ginocchio di 90°. Il 40% dei pazienti con ginocchio esteso neutro non ha mantenuto il proprio allineamento, ma piuttosto è progredito in varo o in valgo ad una flessione del ginocchio di 90°.

Conclusione. L'allineamento del ginocchio in estensione è uno scarso predittore dell'allineamento in flessione nei pazienti con gonartrosi, di conseguenza pianificare un intervento di protesi o un'osteotomia di ginocchio considerando solamente l'allineamento in estensione potrebbe risultare insufficiente.

Parole chiave: gonartrosi, allineamento del ginocchio, cinematica del ginocchio, ginocchio varo, ginocchio valgo

Summary

Background. Recent evidence has questioned the value of the standing limb alignment for predicting the adduction moment and forces exerted on healthy and prosthetic knees. This study has been

initiated to assess the lower limb alignment of OA knee patients at various knee flexion angles. The main hypothesis was that lower limb alignment measured throughout knee flexion does not significantly differ between patients displaying different extension alignment (neutral, varus or valgus).

Methods. 206 arthritic knee patients undergoing computer-assisted total (CAS) knee prosthesis were included. Frontal limb alignment was assessed in a systematic manner by CAS at three knee positions: extension, 90 degrees of flexion and maximal flexion. The HKA angle at each knee position and the change in HKA angle between two knee positions (delta value) were reported and compared.

Results. A large proportion of OA patients had significant variation of their lower limb alignment (32% with Δ HKA > 5°). The extended limb deformity tended to reduce with knee flexion: mean of 5° and 6° deformity reduction for varus and valgus patients, 40% and 66% of varus and valgus patients progressed to neutral alignment with 90° knee flexion. Forty percent of neutral extended lower limb did not maintain their neutral alignment but rather progressed to either varus or valgus at 90° knee flexion.

Conclusions. Limb alignment in extension is a poor predictor of limb alignment in flexion in OA patients. Only considering the traditional frontal alignment of an extended lower limb for planning knee arthroplasty or osteotomy is likely insufficient.

Key words: arthritic knee, knee alignment, knee kinematics, varus knee, valgus knee

Introduzione

L'allineamento dell'arto inferiore sul piano frontale è di particolare interesse nell'ambito della chirurgia protesica del ginocchio poiché è il parametro principale su cui si può agire per ridurre il momento di adduzione (generato dalla forza di reazione al suolo e dal suo braccio di leva al centro del ginocchio) e di conseguenza modificare le forze risultanti sul ginocchio protesizzato.

La tecnica dell'allineamento meccanico mira infatti a correggere la deformità del ginocchio fino ad ottenere un allineamento neutro, in quanto si ritiene abbia dei vantaggi biomeccanici che potrebbero migliorare la durata dell'impianto riducendo il momento di adduzione del ginocchio e di conseguenza il carico sul comparto mediale^{1,2}. L'allineamento preoperatorio degli arti inferiori è quindi un parametro chiave per la pianificazione della protesi di ginocchio ed è tradizionalmente calcolato misurando l'angolo anca-ginocchio-caviglia (HKA) sulla radiografia panoramica.

Nell'ultimo decennio tuttavia, grazie anche alla diffusione della chirurgia computer-assistita e robotica, si è andato rafforzando il concetto di come l'allineamento degli arti inferiori sia un parametro dinamico piuttosto che meramente statico. In particolare, i dati ottenuti dalla navigazione durante la chirurgia protesica in ginocchia artrosiche con deformità in varo o valgo hanno mostrato un'attenuazione della deformità alla flessione del ginocchio³. Inoltre, in uno studio su cadavere sono state descritte ginocchia sane non artrosiche con allineamento neutro in estensione che mostravano un allineamento in varo alla flessione intermedia del ginocchio³. Rispetto ad altri Autori, in ogni caso, l'approccio di questo studio è quello di considerare l'allineamento del ginocchio come un parametro dinamico e probabilmente specifico per ogni individuo, tanto da delineare l'eventuale necessità di un intervento chirurgico personalizzato sulla base dei dati cinematici del ginocchio del paziente.

Ciò potrebbe infatti spiegare alcuni casi atipici di artrosi

– come la degenerazione del comparto laterale in un ginocchio varo – e suggerisce come sia ancora poco noto l'allineamento dinamico del ginocchio artrosico sul piano frontale nel movimento di flesso-estensione.

Abbiamo quindi avviato questo studio per valutare l'influenza della flessione del ginocchio sull'allineamento frontale degli arti inferiori in tre diverse coorti di pazienti artrosici, ovvero con allineamento neutro, varo o valgo a ginocchio esteso.

Scopo dello studio è quindi in primo luogo di descrivere l'allineamento nella nostra popolazione di pazienti con gonartrosi e successivamente confrontare il loro allineamento nelle posizioni del ginocchio da esteso a flesso.

La nostra ipotesi nulla è che l'allineamento misurato durante la flessione del ginocchio non differisce in modo significativo nei pazienti che evidenziano diversi tipi di allineamento in estensione (neutro, varo o valgo).

Materiali e metodi

Sono stati oggetto del nostro studio 206 pazienti affetti da gonartrosi primaria, operati di protesi totale di ginocchio computer-assistita dal Senior Author tra il 5 gennaio 2017 e il 13 maggio 2020 presso i dipartimenti *Clinique du Sport Bordeaux-Mérignac*, *Polyclinic Bordeaux Nord* e *Clinique Mutualiste Pessac*, per un totale di 206 ginocchia. Criterio di inclusione è stata una gonartrosi primaria di grado moderato-severo (Kellgren/Lawrence grado III/IV). Sono stati esclusi dallo studio pazienti affetti da gonartrosi secondaria e pazienti con grave instabilità di ginocchio riscontrata clinicamente durante la visita preoperatoria.

In tutti i pazienti è stata utilizzata la via di accesso parrotulea mediale, senza alcuna release dell'apparato legamentoso mediale o laterale e senza l'utilizzo di laccio pneumatico.

Il sistema di navigazione utilizzato è stato l'Orthopilot®.

(BBraun Aesculap, Tuttlingen, Germania), costituito principalmente da un personal computer, da una telecamera ad infrarossi, da una pedaliera a due pulsanti, da un trasmettitore libero (*pointer*) e da due trasmettitori (*trackers*) che vengono fissati per via percutanea al terzo distale del femore e al terzo prossimale della tibia. Il sistema si basa quindi su un processo combinato di registrazione di reperi ossei intra ed extra-articolari e di acquisizione del centro di rotazione di anca, ginocchio e caviglia attraverso dei movimenti di circonduzione dell'anca e di flesso-estensione e rotazione interna ed esterna del ginocchio, che permette di ricostruire con una precisione di circa 1° l'asse meccanico femoro-tibiale e dunque l'angolo anca-ginocchio-caviglia (HKA) lungo tutto il movimento di flesso-estensione del ginocchio (Fig. 1).

Sulla base quindi del valore dell'angolo HKA con il ginocchio in estensione, fornito dal sistema di navigazione intraoperatoriamente dopo la rimozione dei menischi e degli osteofiti anteriori e prima della preparazione dei tagli ossei per l'impianto della protesi, i pazienti sono stati suddivisi in tre gruppi: Neutro ($-3^\circ \leq \text{HKA} \leq 3^\circ$), Varo ($\text{HKA} < -3^\circ$) e Valgo ($\text{HKA} > 3^\circ$).

Di ogni paziente sono stati registrati inoltre l'angolo HKA a 90° di flessione e in flessione massima.

La flessione del ginocchio viene effettuata dal primo operatore reggendo l'arto operato con una mano sotto alla coscia che spinge verso l'alto e l'altra mano sul tallone, su cui viene applicata una forza costante lungo l'asse longitudinale della gamba fino a raggiungere la flessione del ginocchio desiderata e senza applicare alcuno stress in varo/valgo.

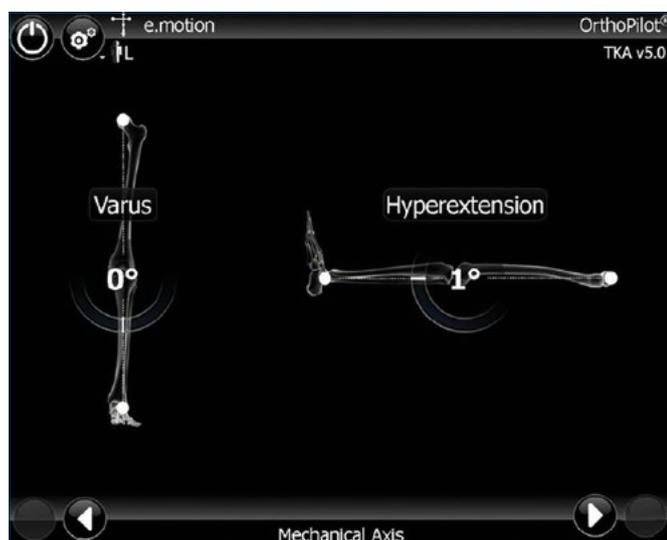


Figura 1. La schermata del sistema di navigazione Orthopilot® che restituisce in tempo reale l'allineamento del ginocchio attraverso il calcolo dell'angolo anca-ginocchio-caviglia (HKA) e il grado di flesso-estensione.

A seconda quindi del valore dell'angolo HKA ottenuto nelle diverse posizioni del ginocchio, abbiamo riassegnato i pazienti ai tre gruppi e ricalcolato la percentuale di pazienti appartenenti al gruppo Neutro, Varo o Valgo rispettivamente a 90° di flessione e in flessione massima.

Sono stati poi confrontati i valori dell'angolo HKA in estensione, a 90° di flessione e in flessione massima, riportandone la differenza media, la deviazione standard (SD) e i valori minimo e massimo.

Inoltre, per ogni gruppo è stata calcolata la percentuale di pazienti con una differenza (Δ HKA) dell'angolo HKA $> 5^\circ$ tra le varie posizioni del ginocchio (estensione vs 90° di flessione, 90° di flessione vs flessione massima, estensione vs flessione massima). Di ogni gruppo, i valori di HKA riscontrati nelle tre diverse posizioni del ginocchio sono stati rappresentati graficamente attraverso degli *scatter plots* (Figg. 2-4).

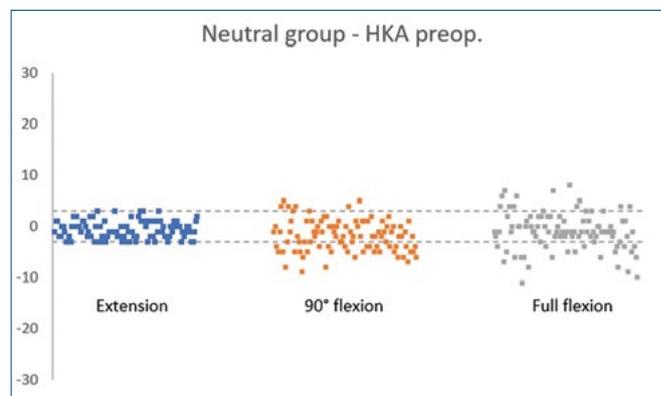


Figura 2. Scatter Plot con i valori di HKA del gruppo neutro rispettivamente in estensione, a 90° di flessione e in flessione massima.

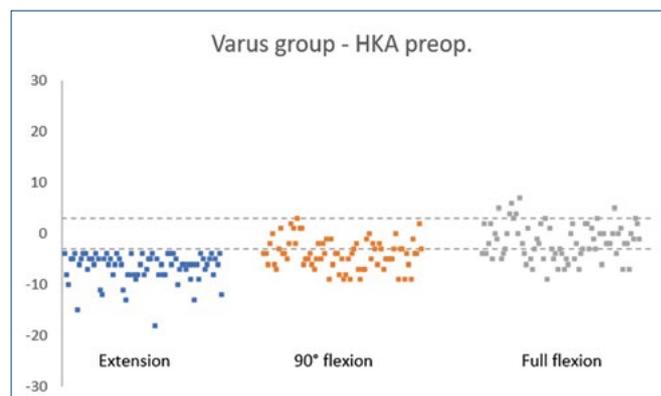


Figura 3. Scatter Plot con i valori di HKA del gruppo varo rispettivamente in estensione, a 90° di flessione e in flessione massima.

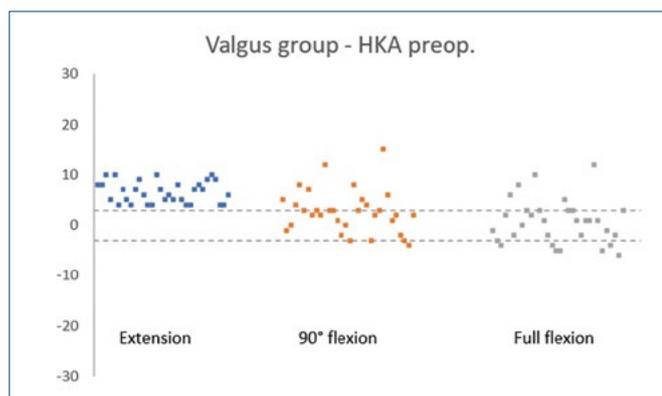


Figura 4. Scatter Plot con i valori di HKA del gruppo valgo rispettivamente in estensione, a 90° di flessione e in flessione massima.

Analisi statistica

L'elaborazione dei dati raccolti e l'analisi statistica sono state condotte attraverso il software Microsoft Excel 2016 (Microsoft Corp, Redmond, WA, USA). Il test ANOVA è stato utilizzato per analizzare la varianza e la significatività statistica all'interno dei gruppi Neutro, Varo e Valgo in rela-

zione ai valori di HKA in estensione, a 90° di flessione e in flessione massima (livello di significatività $p < 0,05$).

Risultati

I dati demografici e i valori medi di estensione e flessione massima dei tre gruppi sono riassunti nella Tabella I. I dati relativi alla distribuzione dell'allineamento sono riportati nella Tabella II. L'angolo HKA medio per l'intera coorte dei pazienti era di 1,7° varo (SD 5°, da -18° a 10°) in estensione, con 98 ginocchia neutre (48%), 76 in varo (37%), e 32 in valgo (15%).

Coorte ginocchio varo

Considerando la coorte di allineamento in varo a ginocchio esteso, l'angolo HKA medio era di 7° in varo (SD 2,8°, da 4° varo a 18° varo) in estensione, 4° varo (SD 2,9°, da 3° varo a 9° varo) a 90° di flessione, e 2° varo (SD 3,5°, da 7° valgo a 9° varo) in massima flessione (Fig. 2). La differenza tra questi allineamenti è risultata statisticamente significativa ($p < 0,001$). A 90° di flessione del ginocchio, 46 (60%) pazienti sono rimasti in varo mentre 30 (40%) pazienti sono progrediti verso l'allineamento neutro. Nella massima

Tabella I. I dati demografici ed i valori medi di estensione e flessione massima dei tre gruppi di pazienti.

	Varus (N = 76)	Neutral (N = 98)	Valgus (N = 32)	P-value	Overall (N = 206)
Sex					
F	43 (56,6%)	58 (59,2%)	22 (68,8%)	0,495	123 (59,7%)
M	33 (43,4%)	40 (40,8%)	10 (31,3%)		83 (40,3%)
Age (years)					
Mean (SD)	72,5 (7,54)	72,2 (7,45)	75,0 (7,46)	0,176	72,7 (7,51)
Median Min, Max	72,0 58,0, 88,0	72,5 52,0, 88,0	74,5 61,0, 87,0		73,0 52,0, 88,0
BMI					
Mean (SD)	29,7 (5,49)	28,7 (4,56)	27,9 (4,39)	0,184	29,0 (4,92)
Median Min, Max	29,0 19,4, 45,4	28,3 20,2, 44,1	27,4 18,4, 37,8		28,6 18,4, 45,4
Knee Extension (degrees)					
Mean (SD)	-5,39 (4,95)	-4,18 (4,58)	-2,81 (4,39)	0,0279	-4,42 (4,75)
Median Min, Max	-5,00 -20,0, 0	-5,00 -20,0, 5,00	0 -15,0, 0		-5,00 -20,0, 5,00
Knee Flexion (degrees)					
Mean (SD)	115 (10,5)	116 (19,3)	119 (12,3)	0,5	116 (10,5)
Median Min, Max	115 80,0, 130	120 -5,00, 135	120 90,0, 135		120 80,0, 135
ASA					
Mean (SD)	2,23 (0,682)	2,10 (0,680)	2,21 (0,686)	0,536	2,17 (0,680)
Median Min, Max	2,00 1,00, 3,00	2,00 1,00, 3,00	2,00 1,00, 3,00		2,00 1,00, 3,00

Tabella II. La percentuale di pazienti in cui si è riscontrato un allineamento neutro, varo o valgo nelle varie posizioni del ginocchio prese in esame.

	Varus group (HKA < -3°)	Neutral group -3° ≤ HKA ≤ 3°	Valgus group (HKA > 3°)
Extension Percentage of pts, (n° of pts)	37% (76)	48% (98)	15% (32)
90° Flexion Percentage of pts, (n° of pts)	39% (80)	53% (110)	8% (16)
Full flexion Percentage of pts, (n° of pts)	27% (55)	62% (128)	11% (23)

flessione, sono rimasti 25 (33%) pazienti in varo, 45 (59%) pazienti sono progrediti ad un allineamento neutro e 6 (8%) pazienti sono passati ad un allineamento valgo (Tab. III).

La percentuale di pazienti con una differenza (Δ) di HKA > 5° nelle varie posizioni del ginocchio sono illustrate nella Tabella IV. Il Δ HKA medio tra ciascuna posizione del ginocchio è mostrato nella Tabella V: 16 (21%) pazienti hanno mostrato un Δ HKA > 5° tra le posizioni di estensione e flessione del ginocchio a 90°, con un Δ HKA medio di 8,7° (SD 2,6°, fino a una variazione massima di 15°) e in tutti i casi (100%) la variazione di HKA corrispondeva ad una riduzione della deformità. Tra l'estensione e la massima flessione del ginocchio, 30 (39%) pazienti avevano un Δ HKA > 5° con un Δ HKA medio di 9,5° (SD 3,7°, fino a una variazione massima di 20°). In tutti i pazienti è avvenuta una riduzione della deformità in varo iniziale ed il 20% dei casi è passato a un allineamento in valgo. Tra 90° e la massima flessione del ginocchio, quattro (5%) pazienti avevano un Δ HKA > 5°, con un Δ HKA medio di 6,5° (SD 0,6°, fino a una variazione massima di 7°). Si è verificata la riduzione della deformità in tutti i pazienti, con un paziente (25%) che è passato ad un allineamento in valgo.

Coorte ginocchio valgo

Considerando la coorte di allineamento in valgo a ginocchio esteso, l'angolo HKA medio era di 7° in valgo (SD 2°, da 4° valgo a 10° valgo) in estensione, 3° valgo (SD 4°, da

4° varo a 15° valgo) a 90° di flessione, e 1° valgo (SD 4°, da 6° valgo a 12° valgo) in massima flessione (Fig. 3). La differenza tra questi allineamenti è risultata statisticamente significativa ($p < 0,00001$). A 90° di flessione del ginocchio, 10 (31%) pazienti sono rimasti in valgo mentre 21 (66%) pazienti sono progrediti verso l'allineamento neutro e 1 paziente (3%) è passato ad un allineamento varo. Nella massima flessione, 5 (16%) pazienti sono rimasti in valgo, 20 (62%) pazienti sono progrediti ad un allineamento neutro e 7 (22%) pazienti sono passati ad un allineamento varo (Tab. III).

La percentuale di pazienti con una differenza (Δ) di HKA > 5° nelle varie posizioni del ginocchio sono illustrate nella Tabella IV. Il Δ HKA medio tra ciascuna posizione del ginocchio è mostrato nella Tabella V: 20 (37%) pazienti hanno mostrato un Δ HKA > 5° tra le posizioni di estensione e flessione del ginocchio a 90°, con un Δ HKA medio di 8,5° (SD 1,7°, fino a una variazione massima di 12°) e in 11 casi (92%) la variazione di HKA corrispondeva ad una riduzione della deformità, mentre 1 paziente (8%) ha mostrato un peggioramento della deformità in valgo e un altro paziente (8%) è progredito verso un allineamento in varo. Tra l'estensione e la massima flessione del ginocchio, 16 (50%) pazienti avevano un Δ HKA > 5° con un Δ HKA medio di 9,6° (SD 3,2°, fino a una variazione massima di 14°). In tutti i pazienti è avvenuta una riduzione della deformità

Tabella III. La frequenza, espressa in valore percentuale, con cui si è modificato l'allineamento del ginocchio riscontrato in estensione nei tre gruppi di pazienti, rispettivamente a 90° di flessione ed in flessione massima.

Ext.	Varus group 37% (76)			Neutral group 48% (98)		Valgus group 15% (32)	Valgus group 15% (32)		
	Remain Varus	Become Neutral	Become Valgus	Become Varus	Remain Neutral	Become Valgus	Become Neutral	Remain Valgus	
90° Flex.	60% (46)	40% (30)	0% (0)	34% (33)	60% (59)	6% (6)	3% (1)	66% (21)	31% (10)
Full flex.	33% (25)	59% (45)	8% (6)	24% (23)	64% (63)	12% (12)	22% (7)	62% (20)	16% (5)

in valgo iniziale, inclusi 7 (44%) pazienti che sono passati a un allineamento in varo. Tra 90° e la massima flessione del ginocchio, 2 (6%) pazienti avevano un Δ HKA $> 5^\circ$, con un Δ HKA di 6° per entrambi, e uno dei due è passato ad un allineamento in varo.

Coorte ginocchio neutro

Considerando la coorte di allineamento neutro a ginocchio esteso, l'angolo HKA medio era di 1° in varo (SD $1,7^\circ$, da 3° varo a 3° valgo) in estensione, 2° varo (SD 3° , da 9° varo a 5° valgo) a 90° di flessione, e 1° varo (SD $3,7^\circ$, da 11° varo a 8° valgo) in massima flessione (Fig. 4). La differenza tra questi allineamenti è risultata statisticamente significativa ($p = 0,01$). A 90° di flessione del ginocchio, 59 (60%) pazienti sono rimasti neutri mentre 33 (34%) pazienti sono progrediti verso l'allineamento varo e 6 (6%) pazienti sono passati ad un allineamento valgo. Nella massima flessione, 63 (64%) pazienti sono rimasti neutri, 23 (24%) pazienti sono progrediti ad un allineamento varo e 12 (12%) pazienti sono passati ad un allineamento valgo (Tab. III).

La percentuale di pazienti con una differenza (Δ) di HKA $> 5^\circ$ nelle varie posizioni del ginocchio sono illustrate nella Tabella IV. Il Δ HKA medio tra ciascuna posizione del ginocchio è mostrato nella Tabella V: 10 (10%) pazienti hanno mostrato un Δ HKA $> 5^\circ$ tra le posizioni di estensione e flessione del ginocchio a 90° , con un Δ HKA medio di $6,9^\circ$ (SD $1,3^\circ$, fino a una variazione massima di 10°) e in 7 casi (70%) si è evidenziata una deformità in varo,

mentre in 3 casi (30%) in valgo. Tra l'estensione e la massima flessione del ginocchio, 19 (19%) pazienti avevano un Δ HKA $> 5^\circ$ con un Δ HKA medio di $7,7^\circ$ (SD 2° , fino a una variazione massima di 12°). Dieci (53%) pazienti hanno mostrato una deformità in varo, 8 (42%) pazienti sono passati ad un allineamento valgo, mentre 1 paziente è rimasto neutro. Tra 90° e la massima flessione del ginocchio, 1 (1%) paziente ha mostrato un Δ HKA $> 5^\circ$, con un Δ HKA di 7° e passando ad un allineamento in valgo.

Discussione

L'allineamento dell'arto inferiore sul piano coronale è tradizionalmente un parametro di interesse per la pianificazione dell'intervento di protesi di ginocchio poiché si ritiene che condizioni sia il momento di adduzione che le forze di reazione che agiscono sull'impianto protesico.

Abbiamo quindi avviato questo studio allo scopo di valutare l'influenza della flessione del ginocchio sull'allineamento degli arti inferiori in tre diverse coorti di pazienti affetti da artrosi del ginocchio.

I principali risultati emersi dal nostro studio sono: primo, un'ampia percentuale di pazienti affetti da gonartrosi mostra una variazione significativa dell'allineamento degli arti inferiori durante il movimento di flesso-estensione (32% con Δ HKA $> 5^\circ$); in secondo luogo, la deformità riscontrata ad arto esteso tende a ridursi con la flessione del ginocchio (in media una riduzione della deformità rispettivamente di 5° e 6° per i pazienti in varo e in valgo, con il

Tabella IV. La frequenza, espressa in valore percentuale, con cui si è riscontrata una differenza media dell'angolo HKA maggiore di 5° nei tre gruppi di pazienti tra le diverse posizioni del ginocchio prese in esame.

	Varus group Δ HKA $> 5^\circ$	Neutral group Δ HKA $> 5^\circ$	Valgus group Δ HKA $> 5^\circ$
0°-90°Flexion	21% (16)	10% (10)	37% (12)
90°-Full flexion	5% (4)	1% (1)	6% (2)
0°-Full flexion	39% (30)	19% (19)	50% (16)

Tabella V. La differenza media, corredata di Deviazione Standard e valori minimo e massimo dell'angolo HKA (Δ HKA) dei tre gruppi di pazienti tra le diverse posizioni del ginocchio prese in esame.

	Varus group Δ HKA $> 5^\circ$ (Mean +/- SD, range)	Neutral group Δ HKA $> 5^\circ$ (Mean +/- SD, range)	Valgus group Δ HKA $> 5^\circ$ (Mean +/- SD, range)
0°-90°Flexion	$8,7^\circ \pm 2,6^\circ$ (6° - 15°)	$6,9^\circ \pm 1,3^\circ$ (6° - 10°)	$8,5^\circ \pm 1,7^\circ$ (7° - 12°)
90°-Full flexion	$6,5^\circ \pm 0,6^\circ$ (6° - 7°)	7°	6°
0°-Full flexion	$9,5^\circ \pm 3,7^\circ$ (6° - 20°)	$7,7^\circ \pm 2^\circ$ (6° - 12°)	$9,6^\circ \pm 3,2^\circ$ (6° - 14°)

40% dei pazienti in varo e il 66% dei pazienti in valgo che è progredito verso l'allineamento neutro con flessione del ginocchio a 90°); infine, tuttavia, ben il 40% dei pazienti con asse neutro in estensione non mantiene il proprio allineamento a 90° di flessione del ginocchio, mostrando invece un allineamento in varo o in valgo.

In generale, il nostro studio evidenzia come nei pazienti affetti da gonartrosi l'allineamento del ginocchio in estensione sia in realtà poco predittivo dell'allineamento in flessione, e ciò potrebbe in parte spiegare il motivo della scarsa correlazione dell'allineamento in estensione con le forze di carico che agiscono sull'articolazione del ginocchio sia sano che protesizzato, come dimostrato da precedenti studi⁵⁻⁷.

I nostri risultati sono in linea con gli studi presenti in letteratura: Deep et al.⁸ ha osservato una riduzione della deformità dell'arto in varo o valgo nel 49,5% delle 585 ginocchia artrosiche analizzate. Mihalko et al.⁹ riporta una riduzione significativa della deformità in varo/valgo durante la flessione del ginocchio artrosico di 152 pazienti. Zhao et al.¹⁰ riporta una devianza media preoperatoria dell'angolo HKA pari a $4,21^\circ \pm 4,31^\circ$ tra 0° e 90° di flessione del ginocchio e Garijo et al.⁵ evidenzia invece una bassa correlazione tra l'angolo HKA del ginocchio esteso e l'angolo HKA del ginocchio flesso a 90°.

Il nostro studio conferma dunque la difficoltà nel predire con precisione la cinematica del ginocchio artrosico sul piano coronale durante il movimento di flesso-estensione, a causa di un'elevata variabilità individuale dovuta quindi non solo a differenti pattern di usura femoro-tibiale (es. usura antero-mediale nel ginocchio varo e postero-laterale nel ginocchio valgo) ma probabilmente anche a caratteristiche intrinseche del ginocchio, come la rotazione del femore distale e la geometria delle superfici articolari (es. differenza di *slope* tra piatto tibiale mediale e laterale) nonché dalla cinematica assiale del ginocchio.

La scarsa predittività dell'allineamento in estensione sull'allineamento del ginocchio flesso può quindi contribuire a spiegare la discrepanza (varianza del 29%) riscontrata tra l'angolo HKA calcolato su radiografia panoramica e l'allineamento dell'arto misurato durante l'analisi del passo⁶, così come la scarsa correlazione tra l'allineamento in estensione postoperatorio e la longevità dell'impianto protesico¹¹⁻¹³. Inoltre, potrebbe spiegare perché alcuni pazienti con deformità dell'arto in varo o valgo sviluppano inaspettatamente un'artrosi isolata al comparto laterale o mediale, rispettivamente.

I risultati del nostro studio suggeriscono quindi come sia probabilmente insufficiente la pianificazione di una protesi di ginocchio (totale o monocompartimentale) o di un'osteotomia correttiva se basata unicamente sull'allineamento frontale del ginocchio esteso.

Di conseguenza, per comprendere meglio l'influenza

dell'allineamento degli arti inferiori sulla cinematica del ginocchio, andrebbe definito l'allineamento degli arti inferiori durante l'arco di movimento di flesso-estensione: a tale scopo, strumenti non invasivi basati su *tracker* ottici applicabili sulla cute e che consentono la valutazione dinamica dell'allineamento frontale degli arti inferiori sono disponibili sul mercato per un uso di routine e ad un costo ragionevole. Conoscere l'allineamento in flessione infatti potrebbe aiutare a predire il rischio di degenerazione del compartimento femoro-tibiale non protesizzato nei pazienti con protesi monocompartimentale in cui non risulta evidente un'iper-correzione in estensione.

Ad esempio, un paziente in varo con gonartrosi mediale secondaria (ad es. post meniscectomia) può essere a maggior rischio di progressione dell'artrosi al comparto laterale se in flessione presenta un arto allineato in valgo. Inoltre, avere maggiori informazioni sull'allineamento del ginocchio sul piano frontale potrebbe influenzare la pianificazione di una protesi totale: in particolare, nel caso si opti per un allineamento cinematico delle componenti, una significativa alterazione dell'angolo HKA nel passaggio dall'estensione alla flessione potrebbe far propendere per un allineamento cinematico di tipo *restricted* (target angolo HKA $\pm 3^\circ$) rispetto alla tecnica *unrestricted*, con un conseguente adeguamento dei tagli ossei e degli spazi in flessione.

È importante considerare alcuni limiti del nostro studio: in primo luogo, sebbene il chirurgo primo operatore (LV) sia esperto in chirurgia computer-assistita CAS (20 anni di uso di routine) e non abbia applicato stress in varo o valgo durante l'acquisizione dei dati, la qualità delle misurazioni dell'angolo HKA potrebbe comunque essere stata alterata dalle forze applicate dall'operatore sull'arto durante il movimento di flesso-estensione. Ciò potrebbe spiegare l'elevata variabilità interosservatore che è stata riscontrata in altri studi sulle misurazioni dell'allineamento del ginocchio durante la chirurgia computer-assistita (CAS)^{4,14}. In secondo luogo, le misurazioni CAS dell'allineamento degli arti inferiori non sono completamente rappresentative dell'allineamento degli arti in carico^{6,7} che si verifica nelle attività quotidiane, poiché l'allineamento in carico è influenzato anche dal comportamento dei tessuti molli^{15,16} e dalla cinematica assiale del ginocchio, che non è stata considerata in questo studio.

Infine, i risultati di questo studio si riferiscono solo ed esclusivamente a pazienti affetti da gonartrosi e non possono essere applicati a pazienti sani o protesizzati.

Conclusione

L'allineamento degli arti inferiori in estensione è uno scarso predittore dell'allineamento in flessione nei pazienti con

gonartrosi: esso varia infatti in maniera sostanziale tra i diversi angoli di flessione del ginocchio in quasi la metà dei casi, con una tendenza generale a raggiungere un allineamento più neutro con una maggiore flessione del ginocchio. Di conseguenza, sono necessari ulteriori studi per definire con più completezza la cinematica del ginocchio artrosico nel pre-operatorio, poiché in alcuni casi pianificare un intervento di protesi o un'osteotomia di ginocchio considerando solamente l'allineamento in estensione potrebbe risultare insufficiente.

Bibliografia

- 1 Nagura T, Niki Y, Harato K, et al. Analysis of the factors that correlate with increased knee adduction moment during gait in the early postoperative period following total knee arthroplasty. *Knee* 2017;24:250-257. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2016.11.012>.
- 2 Niki Y, Nagura T, Nagai K, et al. Kinetically aligned total knee arthroplasty reduces knee adduction moment more than mechanically aligned total knee arthroplasty, *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2018;26:1629-1635. <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4788-z>
- 3 Siston RA, Giori NJ, Goodman SB, et al. Intraoperative passive kinematics of osteoarthritic knees before and after total knee arthroplasty, *J Orthop Res* 2006;24:1607-1614. <https://doi.org/10.1002/jor.20163>
- 4 Hauschild O, Konstantinidis L, Strohm PC, et al. Reliability of leg alignment using the OrthoPilot system depends on knee position: a cadaveric study, *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2009;17:1143-1151. <https://doi.org/10.1007/s00167-009-0825-x>
- 5 Larrainzar-Garjio R, Murillo-Vizueté D, Garcia-Bogalo R, et al. Dynamic alignment analysis in the osteoarthritic knee using computer navigation. *J Knee Surg.* 2017;30:909-915. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1598037>
- 6 Hunt MA, Birmingham TB, Jenkyn TR, et al. Measures of frontal plane lower limb alignment obtained from static radiographs and dynamic gait analysis, *Gait & Posture.* 2008;27:635-640. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.08.011>
- 7 C Rivière, M Ollivier, D Girerd, et al. Does standing limb alignment after total knee arthroplasty predict dynamic alignment and knee loading during gait? *The Knee.* 2017;24:627-633. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2017.03.001>
- 8 Deep K, Picard F, Baines J. Dynamic knee behaviour: does the knee deformity change as it is flexed - an assessment and classification with computer navigation, *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2016;24:3575-3583. <https://doi.org/10.1007/s00167-016-4338-0>
- 9 Mihalko WM, Ali M, Phillips MJ, et al. Passive knee kinematics before and after total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2008;23:57-60. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2006.12.048>
- 10 Zhao Z, Wang W, Wang S, et al. Femoral rotation influences dynamic alignment of the lower extremity in total knee arthroplasty. *Int Orthop* 2015;39:55-60. <https://doi.org/10.1007/s00264-014-2484-x>
- 11 Parratte S, Pagnano MW, Trousdale RT, et al. Effect of post-operative mechanical axis alignment on the fifteen-year survival of modern, cemented total knee replacements. *J Bone Joint Surg Am* 2010;92:2143-2149. <https://doi.org/10.2106/JBJS.I.01398>
- 12 Bonner TJ, Eardley WGP, Patterson P, et al. The effect of post-operative mechanical axis alignment on the survival of primary total knee replacements after a follow-up of 15 years. *J Bone Joint Surg Br* 2011;93:1217-1222. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.93B9.26573>
- 13 Howell SM, Papadopoulos S, Kuznik K, et al. Does varus alignment adversely affect implant survival and function six years after kinetically aligned total knee arthroplasty? *Int Orthop* 2015;39:2117-2124. <https://doi.org/10.1007/s00264-015-2743-5>.
- 14 Goleski P, Warkentine B, Lo D, et al. Pearle, reliability of navigated lower limb alignment in high tibial osteotomies. *Am J Sports Med* 2008;36:2179-2186. <https://doi.org/10.1177/0363546508319314>
- 15 Deep K, Eachempati KK, Apsingi. The dynamic nature of alignment and variations in normal knees. *Bone Joint J.* 2015;97-B:498-502. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.97B4.33740>
- 16 Brown MJC, Deakin AH, Picard F, et al. Lower limb alignment becomes more varus and hyperextended from supine to bipedal stance in asymptomatic, osteoarthritic and prosthetic neutral or varus knees, *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2019;27:1635-1641. <https://doi.org/10.1007/s00167-018-5273-z>