

Indholdsfortegnelse

Kapitel 1	Introduktion	1
1.1	Indledning	1
1.2	Initierende problemstilling	2
Kapitel 2	Problemanalyse	3
2.1	Patientforløb	3
2.2	Behandlingsmetoder	4
2.3	Smerte	8
2.4	Klinisk udvælgelse af patienter	11
2.5	Teknologier til smerteklassificering	14
2.6	Problemafgrensning	19
Kapitel 3	Beskrivelse og tekniske karakteristika for teknologien (TEC)	20
3.1	Formål	20
3.2	HTA spørgsmål	20
3.3	Metode [1]	20
3.4	Fokusområde for QST	21
3.5	Klinisk anvendelse af QST	22
3.6	Tilpasning af QST til knæartrose	22
3.7	Her mangler virkemåde	23
3.8	Begrænsende faktorer ved benyttelse af QST	23
3.9	Her mangler sammenligning	24
Kapitel 4	Sikkerhed (SAF)	25
4.1	Sikkerhed (SAF)	25
4.2	Klinisk effektivitet (EFF)	28
4.3	Omkostninger og økonomisk evaluering (ECO)	29
Litteratur		31

1.1 Indledning

En af de hyppigst forekommende artroseformer er knæartrose og er den førende årsag til funktionsnedsættelse i de nedre ekstremiteter [2]. I 2011 henvendte cirka 60.000 patienter sig hos egen læge med symptomer på knæartrose. Af disse blev 12,5 % opereret for sygdommen. [3]

Andelen af personer med knæartrose stiger med alderen; for 60 til 70 årige har 40% kvinder og 25% mænd artrose i knæleddet [4]. Knæartrose er en kronisk ledsygdom, der primært rammer ledfladens bruskdele, men alle ledstrukturer kan påvirkes af sygdommen. [4]. Typiske symptomer på knæartrose er smerter, herunder belastningssmerter, ømhed og ledstivhed og mange patienter har i de sene stadier hvile- og natlige smerter. Nedbrydningen af ledbrusk fører til påvirkning af sener og muskulatur i leddet, hvormed disse forandres. Disse forandringer fører til funktionstab. Væsentlige faktorer for udvikling af knæartrose er overvægt, tidligere skader, muskelsvaghed og arvelige anlæg. Det antages, at forekomsten af artrose fortsat vil være stigende, da den gennemsnitlige levealder og antallet af overvægtige er stigende [5].

Der forekommer variation i sygdomspåvirkningen blandt knæartrosepatienterne, hvormed nogle kan leve relativt upåvirkede med sygdommen, mens andre oplever, at sygdommen svækker både arbejdsevne og livskvalitet [5]. Derudover forekommer der kun i ringe grad en sammenhæng mellem røntgenfund og patientens gener, hvorfor behandlingen ofte beror på en vurdering af begge dele [10]. Der findes en række behandlingsmetoder der har til formål at forbedre funktionaliteten af det afficerede led. Valget af behandlingsmetode afhænger af flere faktorer, herunder patientens alder, aktivitetsniveau samt graden af artrose. Behandlingsmetoderne omfatter både non-invasive og invasive indgreb. Inden et eventuelt invasivt indgreb foretages, bør patienten have prøvet non-invasive behandlingsmetoder, hvor fokus vil være på træning og livsstilsomlægning. [4]. Ved svære artrosetilfælde kan knæalloplastik være en mulighed. Her vil der foretages en individuel vurdering af patientens gener og de risici, der er forbundet med et invasivt indgreb [4]. Knæalloplastik, som omfatter total knæalloplastik (TKA) og unikompartmental knæalloplastik (UKA), er et indgreb, hvor patienten får udskiftet knæleddet enten helt eller delvist. Der er sket en stigning i antallet disse operationer fra 2.500 i år 2000, til 9.800 i år 2015 [6]. Det ses, baseret på målinger udført med American Knee Society's knæscore, at grænsen for hvor fremskreden knæartrose skal være før en operation udføres, er flyttet i perioden 1997 til 2010. Dermed udføres TKA-operationer generelt tidligere i sygdomsforløbet. Det antages, at en stigende efterspørgsel på operationen har forårsaget denne ændring. [7] Dette kan være en medvirkende faktor til stigningen i antallet af TKA-operationer, da flere patienter således opfylder kriterierne for at blive indstillet til operation.

I næsten 90% af alle tilfælde vil der udføres en TKA-operation fremfor en UKA-operation [6]. En væsentlig problemstilling forbundet med TKA-operationer er, at af patienter, der har gennemgået en ellers succesfuld operation, vil cirka 20% opleve kroniske smerter et år efter operationen. For en tilsvarende operation af hoftelæddet er dette tal cirka 9% [2]. Der er således fortsat grundlag for at søge forbedring af resultatet af en udført TKA-operation.

1.2 Initierende problemstilling

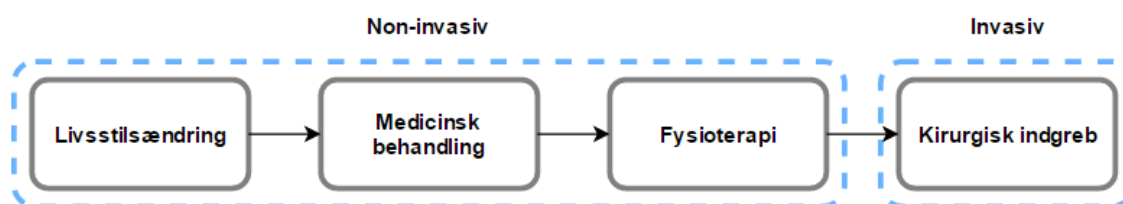
Hvorfor får nogle knæartrosepatienter kroniske postoperative smerter efter en total knæalloplastik?

2.1 Patientforløb

Følgende afsnit omhandler omfanget af knæartrose. Afsnittet redegør for patientgruppen samt de forskellige disponeringsfaktorer for lidelsen. Ydermere vil patienternes forløb blive beskrevet og den sidste fase vil blive analyseret. Dette vil danne grundlag for at klassificere gruppen af patienter, som tilbydes en TKA-operation.

2.1.1 Behandling

Behandlingsforløbet for en patient med knæartrose består af flere metoder. Målet med behandling af knæartrose er smertelindring, mobilitetsforøgelse samt forebyggelse. Generelt kan metoderne inddeles i non-invasive og invasive. Metodevalget afhænger af sygdommens omfang. [8]



Figur 2.1: Flowchartet viser de forskellige behandlingsmetoder, en patient med knæartrose gennemgår. Livsstilsændring dækker eksempelvis vægtreduktion, men medicinsk behandling er smertelindrende stoffer og kirurgiske indgreb er eksempelvis alloplastikker. [8]

Som det ses på figur 2.1, består første metode af en livsstilsændring, hvor en vægtreduktion samt øget fysisk aktivitet kan afhjælpe patientens symptomer. Hvis dette ikke er tilstrækkeligt, kan medicinsk behandling i form af smertelindrende medikamenter benyttes, enten som enkeltstående behandling eller sideløbende med fysioterapi, der har til formål at styrke muskulaturen omkring leddet. Hvis de non-invasive behandlingsmetoder ikke afhjælper lidelsen i en grad hvor patienten er tilfreds, kan invasive metoder anvendes. Ved en sådan overvejelse vurderes den diagnosticerede grad af artrose, ud fra den kliniske vurdering og radiologiske forandringer i knæet fundet ved røntgenbilleder. Baggrunden for at den kliniske vurdering skal verificeres forud for kirurgi er, at smerte fra hofte og ryg kan projiceres til knæet. Hermed tilbydes patienten først en TKA-operation, når non-invasive behandlingsmetoder ikke har lindret symptomer i en tilstrækkelig grad. [3]

2.1.2 Postoperative TKA-resultater

I 2014 blev der udført cirka 9.800 TKA-operationer, hvoraf 1,8% af disse var revisioner et år efter primæroperationen. [6] Et studie af Jær Petersen et al., 2015 [9] viste, at 19% af patienterne efter primær TKA havde svære til uudholdelige smerter. Det samme var gældende

for 47% af patienterne, der fik en revision. Et studie af Beswick et al., 2012 [10] viste, på baggrund af analyse af tidligere udførte studier, at andelen af patienter med kroniske postoperative smerter et år efter TKA-operation var i intervallet 10-34%.

Studiet af Jær Petersen et al., 2015 [9] viste, at 11% af patienterne med primær- og 25% af patienterne med revisionsoperationen ikke var tilfredse med operationen. [9] Sakellariou et al., 2016 [11] har også undersøgt, hvor stor en andel af patienter, der oplever kroniske postoperative smerter efter en TKA-operation. Udfra resultaterne viste Sakellariou et al., 2016 [11], at op mod 39% af studiets patienter oplevede moderat til alvorlig smerte et år efter TKA-operationen, imens kun 19% af patienterne var utilfredse med resultatet af operationen.

Herved antydes en skævhed i forholdet mellem patienter med smerter og utilfredse patienter. Denne observation understøttes af et studie udført af Jacobs et al., 2014 [12]. I studiet blev det påvist, at størstedelen af de utilfredse TKA-opererede patienters utilfredshed er relateret til enten passiv fleksion, smerte eller funktionsnedsættelse. Der blev foretaget præoperative tests, der indikerede, at der ikke var signifikant forskel for parametrene relateret til smerte og funktion blandt patientgrupperne, der efter operationen var henholdsvis tilfredse og utilfredse. Efter operationen blev der foretaget en tilsvarende test af de enkelte forsøgspersoner, der viste, at de patienter, som var utilfredse med operationen, havde signifikant dårligere testresultater indenfor den tre nævnte parametre. Resultaterne fra et studie af Bourne et al., 2010 [13] indikerer ligeledes, at der er andre parametre end smerte forbundet med utilfredshed efter en TKA-operation; de utilfredse patienter havde, udover signifikant flere smerter, også ledstivhed samt nedsat funktion et år efter operationen, sammenholdt med gruppen af tilfredse patienter. Studiet indikerede ligeledes, at den største prædiktør for utilfredshed efter en TKA-operation er, at patientens egne forventninger til operationens resultatet ikke bliver indfriet.

2.2 Behandlingsmetoder

I dette afsnit beskrives knæleddet og hvordan artrose påvirker dette med henblik på senere forståelse for hvordan behandlingsmetoderne for knæartrose fungerer. Non-invasive behandlingsmetoder undersøges for at bestemme effekten af disse, hvorefter udførelsen af en knæalloplastik og kriterierne for en succesfuld TKA-operation analyseres med henblik på at vurdere om operationsteknikken er årsag til, at patienter får kroniske postoperative smerter.

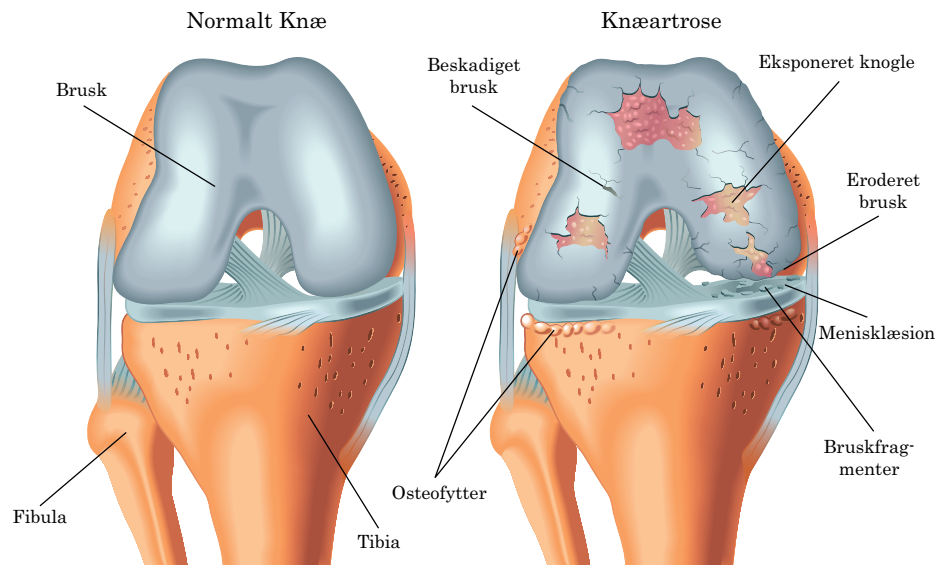
2.2.1 Knæleddet

Knæleddet er et synovialt, sammensat led med en bevægelsesgrad fra 0 til 135° for fleksion og 0 til 5° for hyperekstension. Knæleddet er kroppens største led, og er således udsat for større mekaniske påvirkninger end noget andet led i kroppen. Hermed oplever knæleddet hyppigere end noget andet led patologiske forandringer. Knæleddet er sammensat af tre knogler; femur, tibia og patella. Disse er alle på slidfladerne beklædt med et tykt lag hyalinbrusk. Dette lag kan være op til syv millimeter tykt. Sammen med meniskerne, der fordeler trykket på en større overflade, er hyalinbrusken med til at mindske friktionen i leddet. [14]

2.2.2 Knæartrose

Knæartrose opdeles i en primær og sekundær tilstand. Den primære artrose betegner artrose, der opstår som følge af ikke-udefrakommende årsager, herunder genetik og

aldring. Den sekundære artrose forårsages af tidligere skader, inflammation, overvægt og traume. Knæartrose er en tilstand, hvis hyppigste symptomer er smerter, nedsat mobilitet samt fejlstilling af leddet hos den påvirkede. Smerterne forekommer i forskellig grad fra igangsættende smerte til konstant smerte. Symptomerne forværres som lidelsen udvikler sig. [8]



Figur 2.2: Figuren viser, hvad der sker i knæleddet, når det undergår patologiske forandringer ved knæartrose. Det ses af figuren til højre, at strukturen i knæet forandrer sig. Det fremgår, at bruskelementerne, ved infektion, slid eller traume, kan blive beskadiget, hvilket vil eksponere knoglen og føre til smerte og funktionsnedsættelse. På figuren til højre ses ligeledes osteofytter. [4] [15]

2.2.3 Non-invasiv behandling

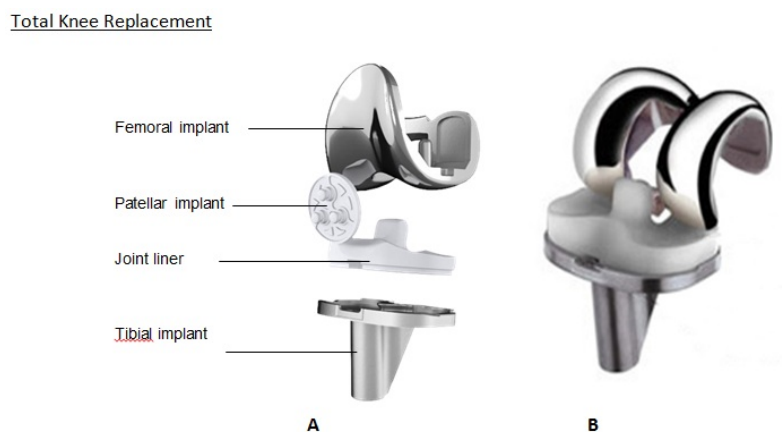
Artrose kan ikke helbredes og non-invasive behandlingsmetoder vil derfor fortrinsvis søge at smertelindre samt forbedre funktionen af knæet [3]. En essentiel del af behandlingen, består i at informere og uddanne patienten, give indsigt i sygdommen samt aktivt inddrage patienten i behandlingsforløbet. Det ønskes eksempelvis at patienten forstår vigtigheden af et vægttab, såfremt dette er nødvendigt. [3] Ved behandling af artrose benyttes ligeledes medicin til smertelindring samt forbedring af funktion. De benyttede præparater er paracetamol, men også NSAID præparater kan anvendes ved inflammation [4]. Ved kraftige smertegener, hvor de primære præparater til behandling ikke har haft den ønskede effekt, kan opioider benyttes. [3]

I både nationale og internationale kliniske retningslinjer, er der bred konsensus om, at træning er af væsentlig betydning ved behandling af knæartrose [3]. Et studie med data fra over 4.000 patienter, foretaget af Juhl et al., 2014 [16] viste, at hverken graden af den radiologiske artrose eller smerteintensitet havde indvirkning på hvor stor effekt, der kunne forventes af træningsforløbet. Det blev fundet, at patienter med svær artrose oplevede samme smertereduktion, som patienter med let til moderat artros. Et studie af Skou, 2016 [17] fandt evidens for, at smertelindringen ved træning var lige så stor som ved brug af

NSAID'er og endnu større end ved brug af paracetamol. Træning har desuden, modsat medicinsk behandling, ingen bivirkninger. [17] Et studie af Skou et al., 2015 [18] fulgte 100 forsøgspersoner, som var egnede til at få foretaget en TKA-operation, over et år. Den ene gruppe modtog non-invasiv behandling, som bestod af et træningsforløb, patientundervisning, indlæggssåler og et eventuelt vægtabsprogram. Den anden gruppe modtog kirurgisk behandling. Gruppen, der gennemgik kirurgisk behandling, havde en større smertelindring end gruppen, som kun modtog non-invasiv behandling. Dog havde gruppen, der modtog kirurgisk behandling, større risiko for at få komplikationer. Forsøget viste dog, at i gruppen som modtog non-invasiv behandling, fik cirka en tredjedel foretaget en TKA i løbet af forsøgsperioden. [18]

2.2.4 Kirurgisk behandling

Som kirurgisk behandling for knæartrose foretages oftest en alloplastik. Alloplastik er et operativt indgreb der har til formål helt eller delvist at udskifte knæleddet med specialdesignede metal- og plastkomponenter. Der findes to former for alloplastikker; udskiftning af hele knæleddet (TKA) eller udskiftning af en del af knæleddet (UKA). [3]



Figur 2.3: En TKA består af fire komponenter; et femoralt, patella- og tibialt implantat samt et plastiklag, der placeres mellem det femorale og tibiale implantat og mindsker friktionen. Udformningen af komponenterne gør det muligt at efterligne knæleddets naturlige bevægelse. [19]

Under alloplastik operationen ligger patienten på operationsbordet med knæet i en flekteret position. Et snit lægges over patella, hvorefter denne og senerne i leddet eleveres og blotter knæleddet. Hermed får kirurgen adgang til bruskfladerne på femur og tibia. Kirurgen fjerner det ødelagte brusk og en del af knoglen ved hjælp af en guideblok, der skrues ind i femur og sikrer præcis fjernelse af den ønskede mængde væv. Dette gentages på tibia, hvorved der skabes plads til implantaterne. Midlertidige implantater indsættes for at sikre bevægelsesfriheden er bevaret og testes ved ekstension af knæet. Når kirurgen er tilfreds med resultatet, bores guidehuller i henholdsvis femur, tibia og patella til fastmontering af de permanente implantater. Fastmonteringen sker ved at dække implantatet og monteringsstedet i bencement, der limer proteserne fast til den eksisterende knoglestruktur. Herefter sikres igen, at bevægelsesgraden er bibeholdt, førend indsnittet lukkes og operationen er fuldført. En TKA-operation varer typisk omkring én time, hvorefter patienten kan støtte på benet

den følgende dag. Efter operationen følger et rehabiliteringsforløb for at støtte og styrke muskulaturen omkring knæet. [20] [21]

Ifølge Sundhedsstyrelsens vurdering er knæalloplastik en effektiv behandling til at mindske smerte, øge funktion og derved forøge patientens livskvalitet. Holdbarheden af knæimplantaterne vurderes ud fra antallet af implantater, der er vurderet udskiftet efter 10 år, hvor det er påvist, at 90 til 95% af implantaterne ikke er revideret. Det er ikke muligt at vurdere holdbarheden af den enkelte protese, da flertallet af patienterne dør med et velfungerende implantat. [3]

Kriterier for veludført TKA-operation

Kriterierne for succesfuld kirurgisk behandling af knæartrose er ifølge Styringsgruppen for Dansk Knæalloplastikregister (DKA) opdelt i fem kriterier. [6] Disse kriterier er opgivet i tabel 2.1, hvor standard og landsgennemsnit for Danmark ligeledes er opgivet.

Det fremgår af tabel 2.1, at der, i hele Danmark, udføres knæalloplastikker som alle overholder retningslinjerne for behandlingskvaliteten [6]. På trods af at alle operationer overholder de opstillede kriterier, har en betydelig procentdel af patienterne kroniske postoperative smerter. [13] Hermed opfyldes succeskriterierne opstillet af DKA, hvormed næsten alle knæalloplastikker kan anses som at være succesfulde. Dette er dog modstridende med andelen af operationer der er tilfredsstillende ud fra et patientsynspunkt. Det er således væsentligt at identificere eventuelle præoperative risikofaktorer for udvikling af kroniske smerter efter en TKA-operation.

Et studie af Lewis et al., 2015 [22] har undersøgt prædikatorer associeret med kroniske postoperative smerter ved TKA-operationer. Det blev fundet, at katastrofetænkning, mentalt helbred, smerte forud for operationen og smerte andre steder var de største årsager til postoperative smerter mere end tre måneder efter en TKA-operation.

	Standard [maximale %]	Landsgennemsnit (Spredning) [%]
Andel af patienter med primær TKA på baggrund af primær artrose, som, uanset diagnose, genindlægges indenfor 30 dage efter udskrivning.	10	7,3 (5,8 til 9,5)
Andel af patienter med primær TKA der er revideret indenfor et år.	3	1,8 (0,8 til 2,4)
Andel af patienter med primær TKA der er revideret indenfor to år.	5	3,3 (1,7 til 4,8)
Andel af patienter med primær TKA der er revideret indenfor fem år.	8	6 (4,2 til 6,7)
Andel af patienter, der dør indenfor 90 dage efter primær TKA.	1	0,4 (0 til 0,7)

Tabel 2.1: Tabellen viser succeskriterierne for knæalloplastikoperationer med en standardiseret grænse sammenholdt med landsgennemsnittet. Spredning er indikeret i parentes. Tabellen er modificeret fra [6]

2.3 Smerte

I dette afsnit beskrives de anatomiske og fysiologiske egenskaber ved smerte, herunder de forskellige kategorier af smerte.

2.3.1 Anatomi og fysiologi

Smerte er af The International Association for the Study of Pain (IASP) defineret som: “*An unpleasant sensory and emotional experience associated with actual or potential tissue damage, or described in terms of such damage.*” [23].

Selvom smerte er en følelse, der forsøges undgået, er det en nødvendig mekanisme for menneskets overlevelse. Det informerer kroppen om farer eller skader som skal reageres på, så yderligere skade kan undgås. Smerten opstår når hjernen den modtager stimuli fra neuroner i kroppen. Oplevelsen af smerte kaldes perception af smerte og er forskellig fra sensationen af smerte. Sensationen sker, når nociceptorer stimuleres og genererer et aktionspotential. Perceptionen sker først, når impulsen når til hjernen og smerten registreres. [24]

Smerte registreres af nociceptorer som befinder sig næsten overalt i kroppen. Disse nociceptorer er frie neuronender, som forgrener sig ud i hele kroppen og ligger frit i vævet. De dækker således et stort område og kan reagere på de forskellige typer stimuli som vævet udsættes for. Nociceptorerne aktiveres af enten tryk-, stræk-, termiske og kemiske stimuli. Nociceptorerne kan også være polymodale, hvilket betyder, de kan aktiveres af flere typer stimuli. Aktiveringen af nociceptorerne sker oftest ikke direkte, men ved hjælp af transducerproteiner. Nociceptorerne kan også aktiveres direkte, for eksempel af stofferne bradykinin og prostaglandin, som er involveret i inflammatoriske reaktioner. [25] Når en nociceptor aktiveres, vil denne videre aktivere det første afferente neuron. Dette gøres ved at ionkanalerne i neuronets membran lader Na^{2+} og Ca^{2+} strømme ind, hvorved et gradientpotential opbygges. Hvis dette er tilstrækkelig højt, overskrides neuronets tærskelværdi, hvorefter et aktionspotential sendes afsted. Neuronfibrene, der kan lede signalet, er enten A-fibre eller C-fibre. Disse adskiller sig ved at A-fibrene er myeliniserede, hvilket C-fibrene ikke er. Dermed har A-fibre en højere ledningshastighed end C-fibre, og forårsager således den første stikkende smerte efter en vævsskade, hvorimod C-fibres aktivering forårsager en brændende smerte, der fremkommer efterfølgende. [25]

Flertallet af primære afferente fibre føres til rygmargens baghorn, hvor de danner synapse med ascenderende neuroner i rygmargen. Signaloverførslen over den første synapsekløft sker overvejende ved at de excitatoriske transmitterstoffer glutamat og substans P. Neuronerne viderefører signalet op gennem tractus spinothalamicus, tractus spinomesencephalicus og tractus spinoreticularis til hjernestammen og thalamus. Thalamus er involveret i koordinering af signaler til højere strukturer, herunder det primære og sekundære sensoriske cortex, den primære motoriske cortex og det frontale cortex. Disse områder varetager blandt andet information om lokation, intensitet, adfærdsforandringer og kognitiv bearbejdning. Fra hjernestammen er der forbindelse til den periakvæduktale grå substans og til den rostro-ventrale medulla, som er involveret i smerteregulering via descenderende neuronfibre, som danner synapser i baghornet. I de descenderende baner er noradrenalin og serotonin de primære transmitterstoffer. [25]

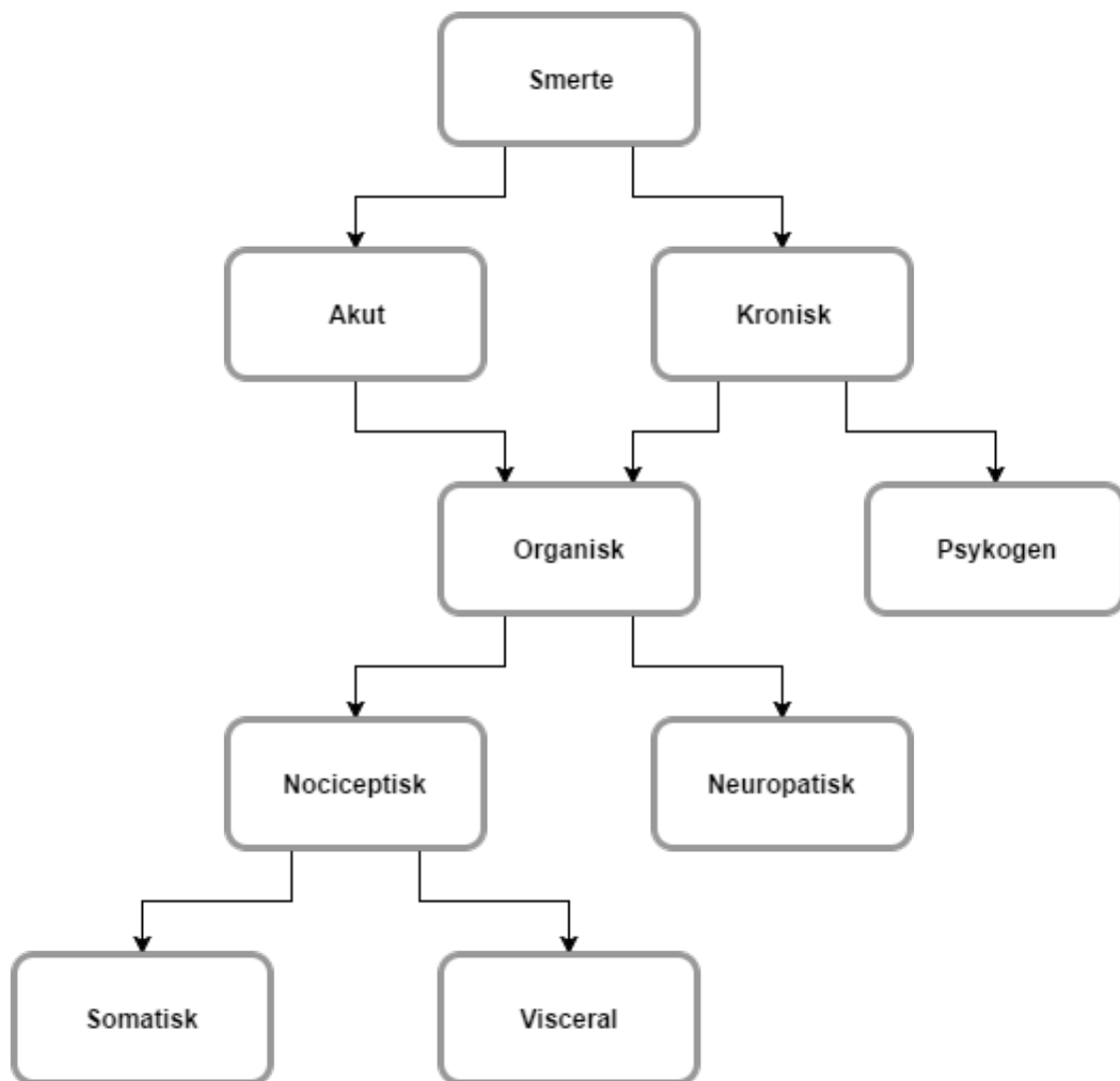
Til smertebehandling benyttes blandt andet serotonin-plus-noradrenalin-genoptagelseshæmmere (SNRI). Disse stoffer påvirker den præsynaptiske genoptagelse af serotonin og noradrenalin, hvil-

ket resulterer i en øget mængde af disse i synapsekløften, som yderligere resulterer i en øget aktivitet. Den øgede aktivitet medfører en mindsket oplevelse af smerten. [25]

2.3.2 Smertetyper

Der findes flere måder at inddele smerte på, men generelt kan der skældnes mellem akut og kronisk smerte.

Hver kategori har flere undergrupperinger, som kan placeres på flere forskellige måder. [26] På figur 2.4 er en oversigt over, hvordan smerte kategoriseres i dette projekt.



Figur 2.4: Figuren viser hvordan smerte kan opdeles i en akut og kronisk del. Akut smerte opdeles videre i en organisk del, herunder neuropatisk og nociceptisk smerte. Kronisk smerte opdeles i både en organisk og psykogen del.

Akut smerte

Begræbet akut smerte dækker over den tidligere beskrevne nødvendige mekanisme, som fortæller hjernen om øjeblikkelig vævsskade, så denne hurtigt kan afværges. Akut smerte forårsages

af traumer i eller på kroppen, og der skelnes mellem to typer af smerte: nociceptisk og neuropatisk. Nociceptisk smerte udløses af skade på væv herunder indre organer, overflader af kroppen og knogler. Denne type smerte skyldes aktivering af nociceptorer, som oftest sidder som frie neuronender i væv. Da nociceptorer både er inde i og uden på kroppen, opdeles nociceptisk smerte i somatisk og visceral smertesensation. Somatisk smertesensation er information fra kroppens ydre lag. Det er således sensation fra hud og muskulaturer i overfladen af torso, hoved, hals og lemmer. [24] Smerten er øjeblikkelig og let placerbar.

Visceral smertesensation er information fra de indre organer i hals og abdomen. Sensation herfra opfattes sjældent, da de fleste indtryk er unødvendige at tage stilling til. Hvis der imidlertid opstår smerter i disse områder er denne besværlig at placere. Smerten er typisk ikke øjeblikkelig, men mere trykkende og langvarig; mavesmerter er et eksempel på visceral smerte. [24]

Fordi viscerele og somatiske neuroner deles om samme rygmarssegment, kan visceral information fra indre organer blive opfattet som somatisk information ved refereret smerte. Smerte på grund af skade i indre organer vil derfor typisk opfattes som somatiske smerter. Ved refereret smerte kan smerte i venstre arm og skulder således være forårsaget af smerte i hjertet. [24] Nociceptisk smerte er oftest ikke årsag til kroniske smerter, med mindre smerterne bliver ved.

Neuropatisk smerte opstår af skader på nervesystemet selv, herunder neuroner, rygmars, neurale plexi eller hjernen. Ved neuropatisk smerte registrerer neuronerne et stimuli, som kan skyldes infektioner og sygdomme, herunder iskæmi, sclerose, diabetes og kræft. Stimuli kan ligeledes være forårsaget af smerter fra traume som startede med at være nociceptiske. Lokaliseringen af de stimulerede neuroner bestemmer hvilken form for neuropatisk smerte der perceperes. Smerten kan opleves som konstant og langvarig, hvor et typisk eksempel er fantomsmerter, men kan også være lejlighedsvis som ved hyperalgesi, hvor almindelig berøring opfattes som smertefuldt. [26] [23]

Kronisk smerte

Modsat akut smerte er kronisk smerte en længerevarende oplevelse af smerte. Kronisk smerte er af IASP defineret som smerteperception, der varer længere, end det generelt ville forventes [23]. Oftest sættes denne grænse ved tre måneder, men i nogle kliniske undersøgelser, eller hos nogle kræftpatienter kan smerten allerede efter en måned kategoriseres som værende kronisk. Som det kan ses af figur 2.4 kan organisk smerte være både akut og kronisk. Dette sker, da kronisk smerte ofte opstår på baggrund af en akut smerte, som ikke stopper. Kronisk smerte kan således opleves af en person som enten har haft nociceptisk eller neuropatisk smerte. Kronisk smerte kan ligeledes være af psykogen oprindelse.

Psykogen smerte er, til forskel fra nociceptisk og neuropatisk smerte, ikke en egentlig skade på kroppens væv. Det er en imaginær perception af smerte, og derved den mest komplekse type smerte at præcisere, idet der ikke er, og muligvis aldrig har været, en fysisk årsag til smerten. Hos en person med psykogene smerter opfatter hjernen, at der forekommer nociceptiske eller neuropatiske smerter. Smerten er udelukkende psykisk hos personen, men er af den grund ikke mindre virkelig, grundet smertes subjektive natur. [26]

2.3.3 Smerte og knæartrose

Ledkapsler, sener, periost og spongiøst væv er tæt innerveret af nociceptorer, hvorimod ledbrusk ikke er inneveret af nociceptorer. Dette kan forklare, hvorfor røntgenfund og smerteintensitet korrelerer i ringe grad. [27] [25] Ved inflammation i ledkapslen ses en rekruttering af inaktive A- og C-fibre, hvilket kan føre til en sensibilisering af nervesystemet omkring det inflammerede område [25]. En forlænget inflammationstid, skade på den subkondrale knogle eller en forlænget excitation af nociceptorer kan alle medføre en perifær sensibilisering, som efterfølgende kan føre til en central sensibilisering [27]. Ved perifær sensibilisering forstås en reduktion i tærskelværdien og en øget respons af nociceptoren. Dette kan fremkomme som et resultat af vedvarende påvirkninger fra inflammatoriske mediatorer, som findes i beskadiget eller inflammatorisk væv. Ved central sensibilisering sker der en forøgelse af excitabiliteten af neuronerne i CNS, så normale input giver anormal responser. Dette kan blive udløst af vedvarende aktivitet i nociceptorerne [28].

Perifær og central sensibilisering er blevet antaget som værende to af de underliggende mekanismer ved smerter, der relaterer til knæartrose og andre kroniske muskuloskeletale smertetilstande. Op til 70% af patienterne med knæartrose har somatosensoriske anormaliteter, der involverer sensibilisering af nervesystemet. [29] [?] Dette kan føre til en tilstand af hypersensibilitet overfor smerte [27]. Kroniske muskuloskeletale smertepatienter, og dermed også knæartrosepatienter, har generelt en kraftigere respons på smertefuld stimuli, og hyperalgesi i dybereliggende væv [29]. For kroniske muskuloskeletale smertetilstande er det påvist, at eksempelvis temporal summation og repetitiv tryksmerte er forhøjet i forhold til raske personer [?]. Ved knæartrose tyder det ligeledes på, at den descenderende smertefacilitering og -hæmning, har betydning for om patienterne får kroniske smerter efter en TKA-operation [27]. Efter en eventuel TKA-operation kan denne hypersensibilitet normaliseres [27] [30]. Dette sker ikke for de patienter som får postoperative kroniske smerter efter en TKA-operation. Det er blevet foreslået, at en kombination af tilstedeværelsen af en forhøjet respons temporal summation og repetitiv tryksmerte muligvis kan være med til at prædiktere, hvilke patienter der udvikler kroniske smerter efter en TKA-operation. [27]

2.4 Klinisk udvælgelse af patienter

I dette afsnit undersøges det hvilke retningslinjer og faktorer, der har betydning for en klinikers udvælgelse af en patient til en TKA-operation. Dette gøres med henblik på en identifikation af eventuelle problematikker ved en udvælgelse af patienter, som udelukkende er baseret på en klinikers vurdering.

Patienter, som tilbydes en TKA-operation, udvælges på baggrund af en kirurgs observationer og erfaringer. Hermed afhænger udvælgelsen af patienter til en TKA-operation af klinikere, hvormed patienter kan opleve varierende anbefalinger og behandlingsmuligheder afhængig af hvilken kirurg, der er ansvarlig for vurderingen. I et forsøg på at standardisere behandlingen af knæartrose for alle patienter i Danmark har Sundhedsstyrelsen udarbejdet en rapport indeholdende nationale kliniske retningslinjer. Disse retningslinjer bygger hovedsageligt på lægelig konsensus. Retningslinjerne vedrørende tilbud om en TKA-operation indeholder blandt andet, at patienter kun tilbydes en TKA-operation hvis non-invasive behandlingsmetoder ikke har en tilstrækkelig virkning. En TKA-operation kan tilbydes

patienter som den første behandlingsmulighed, hvis kirurgen vurderer, at patientens artrose er så svær, at ingen non-invasive behandlingsmetoder vil have en tilstrækkelig effekt. Dette kan eksempelvis være, hvis patienten har en kraftig fejlstilling af knæet eller svær instabilitet i leddet. [3]

Sundhedsstyrelsen har ligeledes opstillet en række indikationer, som kan få kirurgen til at fravælge en patient til en operation. Disse indikationer er eksempelvis, hvis der er infektion i knoglen eller leddet, hvis patienten ingen smerter har i leddet eller hvis patienten har en kort forventet levetid. En anden indikator, som kan få en kirurg til at fravælge at operere patienten, er hvis patienten har urealistiske forventninger til operationen. [3] I et studie har Gonzalez Sáenz de Tejada et al., 2010 [31] vist, at patienter, hvis forventninger til operationen bliver opfyldt, oplever større tilfredshed efter operationen. Ligeledes er det vist, at kirurgens forventninger til en operation påvirker patientens forventninger [31]. Dette antyder, at kirurger, ved at forklare patienten hvad de kan forvente af operationen, kan være med til at mindske eller helt fjerne faktoren vedrørende urealistiske forventninger.

Ud fra et studie af Skou et al., 2016 [32] anses flere af de ovennævnte retningslinjer som nogle af de vigtigste overvejelser, når en kirurg skal bestemme, om en patient er egnet til at modtage en TKA. Skou et al., 2016 [32] fandt, at kirurger anser radiografisk omfang, smerte i knæet ved udførelse af hverdagsaktiviteter, funktionelle begrænsninger samt utilfredsstillende virkning af non-invasive behandlingsmetoder som de fire vigtigste faktorer for en patients egnethed til en TKA-operation. Det blev af Skou et al., 2016 [32] undersøgt om de faktorer, kirurgerne mente var de vigtigste for en patients egnethed for en TKA-operation, blev afspejlet i hvilke patienter kirurgerne tilbød en TKA-operation. Her blev det fundet, at radiografisk omfang samt funktionelle begrænsninger var betydningsfulde i forhold til patientens egnethed til en TKA-operation. De to andre faktorer, smerte i knæet samt utilfredsstillende non-invasive behandlinger, var ikke drivende for kirurgens vurdering af patientens egnethed til en TKA-operation. Hermed blev der af Skou et al., 2016 [32] fundet en uoverenstemmelse mellem hvilke faktorer kirurgerne fandt vigtigst iforhold til vurdering af behovet for en TKA-operation og hvilke faktorer de samme kirurger udvalgte patienter ud fra. Denne uoverensstemmelse viser, hvor kompleks udvælgelsesprocessen for en TKA er samt vanskelighederne ved at bestemme hvilke faktorer, der har størst betydning for en klinikers beslutningsprocess. Ud fra resultaterne fra studiet af Skou et al., 2016 [32] antydes det, at klinikerne anvender både bevidste og ubevidste faktorer til bestemmelse af patienters egnethed til en TKA-operation.

Flere studier har undersøgt hvilke ubevidste faktorer, der kan påvirke en klinikers beslutningstagning. Eksempelvis viser resultater fra et studie udarbejdet af Borkhoff et al., 2008 [33], at en patients køn har betydning for, om klinikerne tilbyder patienten en TKA eller ej. I dette studie anvendte Borkhoff et al., 2008 [33] to standardiserede patienter med moderat knæartrose, som besøgte 71 klinikere, bestående af 38 alment praktiserende læger og 33 ortopædkirurger. Klinikerne, som deltog i studiet, blev ikke informeret om hvem de to standardiserede patienter var. De to standardiserede patienter var ens på alle andre punkter end køn. Borkhoff et al., 2008 [33] fandt, at 55% af ortopædkirurgerne kun tilbød den mandlige patient en TKA-operation, mens ingen af ortopædkirurgerne kun tilbød den kvindelige patient en TKA-operation. Sandsynligheden hvormed en patient vil få tilbudt en TKA-operation afhænger af flere parametre. Eksempelvis kan patientens kommunikationsmetode have indflydelse på beslutningen vedrørende det efterfølgende behandlingsforløb. [33]

I en spørgeskemaundersøgelse, hvor ortopædkirurger blev bedt om at vurdere betydningen

af en patients køn i forhold til, om de ville henstille patienten til en TKA-operation eller ej, svarede cirka 93% af de adspurgte kirurger, at køn ikke ville have nogen betydning for deres vurdering af patienten [34]. Dette kan antyde, at den forskel Borkhoff et al., 2008 [33] fandt i deres forsøg, er følge af en ubevidst bias hos klinikerne. Teorien understøttes også af resultaterne fra et studie udarbejdet af Dy et al., 2014 [35], hvor det blev undersøgt, om en patients race og køn ville have betydning for ortopædkirurgers vurdering af patienter.

I dette studie blev videoer med patienter med svær knæartrose anvendt. Ligesom i studiet af Borkhoff et al., 2008 [33] var patienterne kun forskellige i køn og race. Dy et al., 2014 [35] fandt ingen forskel på kirurgernes vurdering af de fire standardiserede patienter. Forskellen i resultaterne mellem Borkhoff et al., 2008 [33] og Dy et al., 2014 [35] kan skyldes forskellen i patienternes grad af artrose. Ved patienter med svær artrose forekom ingen bias, mens der ved patienter med moderat artrose blev fundet bias. Dette antyder, at kirurgernes bias kun har betydning for patienter, hvor der ikke er klare indikationer på, at patienten skal opereres. I tilfælde hvor der ikke er klare indikationer på, at patienten vil have gavn af en TKA-operation, vil en metode, der kan hjælpe klinikerne med at udføre en vurdering uden bias være fordelagtig. Ved anvendelse af en sådan metode vil det være muligt at inddrage andre faktorer i udvælgelsen af patienter til TKA-operation. Dette vil eksempelvis kunne gøres ved at anvende en metode, som kan hjælpe klinikere med at vurdere patienters risiko for at udvikle kroniske smerter efter TKA-operationen. Hermed vil det være muligt at mindske fordelingen imellem den tekniske succes og den humane succes ved en TKA-operation.

Set i forhold til de opstillede succeskriterier for en TKA-operation beskrevet i afsnit ?? er stort set alle TKA-operationer succesfulde, mens kun 60 til 80% af patienterne, der gennemgår en TKA-operation, ikke oplever kroniske smerter. [11] [9] En succesfuld operation kan dermed defineres forskelligt alt efter hvilken synsvinkel, der arbejdes ud fra. Ud fra en patientmæssig synsvinkel defineres en succesfuld TKA-operation som en operation, hvor patienten er tilfreds med resultatet af denne. Ud fra en teknisk synsvinkel er en TKA-operation succesfuld, når denne opfylder kravene opstillet af Odgaard and Hospital, (year?) [6]. Problematikken opstår ved de TKA-operationer, som kun er succesfulde ud fra en teknisk vinkel. For at mindske andelen af disse vil det være fordelagtigt at finde en metode, som hæver antallet af tilfredse patienter uden at sænke antallet af operationer, som opfylder de tekniske krav. Da kronisk smerte er en af de hyppigste årsager til utilfredshed blandt patienter efter en TKA-operation, vil dét at minimere antallet af patienter med postoperativ kronisk smerte sænke antallet af utilfredse patienter. [13] For ikke at mindske andelen af teknisk succesfulde TKA-operationer vil en metode, som ikke påvirker selve operationsteknikken, være at foretrække. Ligeledes skal metoden kunne mindske eventuelle bias fra klinikere, og systematisere udvælgelsen af patienter til en TKA.

Ud fra disse kriterier vil en metode, som gør det muligt at identificere hvilke patienter, der er i risikogruppen for at få kroniske smerter efter en TKA-operation, være fordelagtig. Hermed vil en del af de TKA-operationer, som ikke gavner patienten, kunne undgås. Denne metode vil dog give en ny patientmæssig problemstilling, idet de patienter, som ikke tilbydes en TKA-operation på grund af udvælgelsesmetoden, stadig vil have moderat til svær knæartrose. Disse patienter skal tilbydes en alternativ behandlingsmetode for at løse denne problemstilling. Den alternative behandlingsmetode skal afhjælpe knæartrosen med minimal risiko for, at patienten får kroniske smerter. Dette er tilfældet, da problematikken blot flyttes til et andet område, hvis patienten ikke udredes. En sådan alternativ behandlingsmetode vil kunne undersøges

nærmere efter en metode til forudsigelse af patienter med postoperative kroniske smerter er fundet.

De ovenstående kriterier vil potentielt kunne opfyldes af flere forskellige metoder. En analyse af disse metoder vil derfor kunne identificere den mest optimale metode til præoperativ undersøgelse af patienter, således patienter med risiko for udvikling af postoperative kroniske smerter kan identificeres.

2.5 Teknologier til smerteklassificering

I denne sektion vil nuværende teknologier til undersøgelse af neural aktivitet blive beskrevet med særlig fokus på anvendelse i forbindelse med undersøgelse af smerteopfattelse. De enkelte teknologiers egenskaber, herunder økonomi, vil overordnet blive analyseret. Afslutningsvis vil der, på baggrund af de enkelte teknologiers egenskaber, blive foretaget en sammenligning med henblik på at identificere fordele og ulemper ved de enkelte teknologier.

For at understøtte klinikerens vurdering af de enkelte patienter vedrørende henstilling til TKA-operation, kan det overvejes, hvorvidt det vil være hensigtsmæssigt at tilføje en ekstra undersøgelse til patientens udredningsforløb forud for beslutningstagning. Relevante undersøgelser kan eksempelvis være objektive målinger af neural aktivitet i forskellige situationer, samt vurdering af patienternes individuelle respons på forskellige typer af stimuli.

2.5.1 Functional Magnetic Resonance Imaging

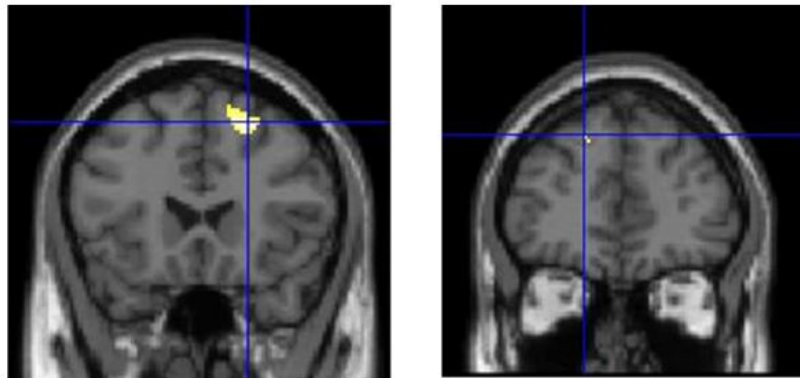
Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) er en metode til at undersøge aktiviteten i neuronerne i hjernen. Generelt er MRI en metode til at synliggøre protoner, hvormed det er muligt at afbilde kroppens væv, da disse primært er udgjort af hydrogen-atomer, som indeholder netop én proton. Ved en MRI-scanning udsættes objektet, eksempelvis en patient, for et eksternt magnetfelt, hvilket medfører, at der opstår et parallelt magnetfelt i objektet, hvormed det er muligt at detektere de tilstedeværende protoner. [36] Udgifterne til fMRI omfatter blandt andet indkøb af en MR-scanner samt anvendelse og vedligehold. Prisen for en MR-scanner ligger mellem 1 og 8 millioner kr. [37]

Der findes forskellige teknikker til fMRI, hvoraf de fleste anvender Blood Oxygenation Level-Dependent (BOLD) kontrast. Ved anvendelse af denne kontrast, udnyttes det, at der ved aktivitet i hjernens forskellige områder, vil ske en ændring i mængden af ilt i blodet, hvilket påvirker magnetfeltets styrke. Dermed vil det, ved hjælp af kontrastvæsken, være muligt at følge blodgennemstrømningens styrke i hjernens forskellige områder, og dermed detektere områder med øget aktivitet. [36]

fMRI har i flere studier været anvendt til at undersøge neural aktivitet i forbindelse med knæ smerter. I et studie af Parks et al., 2012 [38] er det ved hjælp af fMRI blevet undersøgt, hvorvidt der er forskel på oplevelsen af kroniske smerter hos patienter med artrose og på smerter fremkaldt med tryk. Forsøgsparticipanterne var opdelt i en gruppe patienter med knæartrose og en gruppe raske individer. Parks et al., 2012 [38] viste, at de to grupper oplevede den kunstigt fremkaldte knæsmerte ens. Hos artrosepatienterne forekom der forskel i oplevelsen af de kroniske og de kunstigt fremkaldte smerter. [38]

I et andet studie af Hiramatsu et al., 2014 [39] er det undersøgt hvilke forskelle, der forekom i cerebral respons hos en gruppe raske forsøgspersoner og en gruppe forsøgspersoner med

kroniske knæsmarter forårsaget af artrose. Begge grupper blev udsat for akut smerte i knæet gennem invasive elektroder, imens der blev foretaget en fMR-scanning. Studiet viste, at der hos gruppen af patienter med kroniske knæsmarter forekom en højere aktivitet i det dorsolaterale præfrontale cortex end hos gruppen af raske forsøgspersoner. [39] Det præfrontale cortex udfører abstrakte interlectuelle funktioner, som eksempelvis at bedømme konsekvenserne ved at udføre en bestemt handling. [24] fMRI kan således påvise forskelle på hvordan smerte opleves af forskellige grupper af mennesker. Figur 2.5 illustrerer forskellen i neural aktivitet mellem patienterne og de raske forsøgspersoner.



Figur 2.5: Figuren illustrerer forskellen imellem henholdsvis patientgruppen og den raske forsøgsgruppe. Det fremgår, at aktiviteten i det dorsolaterale cortex er signifikant højere hos patienterne end hos de raske individer. [39]

Resultater fra et studie af Bennett et al., 2011 [40] viser dog, at anvendelse af fMRI kan være problematisk hvis der ikke i behandlingen af data tages højde for falske positive på voxel-niveau. Disse falske positive kan betyde, at der af scanneren opfattes et område med større blodgennemstrømning end ved hvile, selvom dette ikke er tilfældet. [40]

2.5.2 Quantitative sensory testing

Quantitative sensory testing (QST) er en metode til undersøgelse af det sensoriske nervesystems funktion. Metoden kan anvendes til undersøgelse af forskellige egenskaber, herunder smertegrænser. QST eksponerer patienten for forskellige sensoriske stimuli, herunder varme og kulde, vibration og tryk. Dermed er det muligt at identificere grænserne for henholdsvis perception og smerte. [41] Prisen for udstyr, som kan anvendes til QST, afhænger af hvilken QST-protokol, der anvendes. Firmaet Nocitech har udarbejdet en maskine, som kan anvendes til at undersøge tre parametre med henblik på detektering af muskuloskeletale smerter. Denne maskine koster cirka 200.000 kr. [42] QST kræver, i modsætning til fMRI, ikke scanning eller anden billeddiagnostisk undersøgelse.

Der findes forskellige protokoller til udførelsen af QST, afhængigt af hvad formålet er med undersøgelsen. De forskellige protokoller indeholder forskellige tests, hvilket er baseret på fokusområdet. Et eksempel er en QST-protokol udviklet af German Network on Neuropathic Pain til undersøgelse af neuropatisk smerte. [43] I et studie af Petersen et al., 2016 [27] blev en QST protokol anvendt til undersøgelse af knæartrose patienter før og efter en TKA-operation. Protokollen anvendt i dette studie bestod af tre tests der tilsammen undersøgte fire parametre. De undersøgte parametre var tryk-smerte detektionsgrænsen (PDT), grænsen

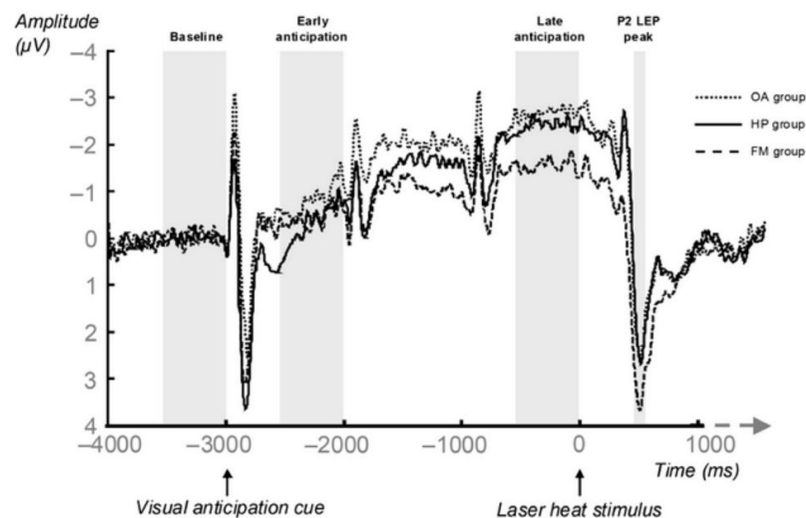
for smertetolerance (PTT), temporal sumation af smerte (TSP) og tilvant smertemodulerig (CPM). [27] Hver af disse fire parametre er blevet vist at være anormale ved patienter med knæartrose. [44] [27]

QST bliver i forskningsregi anvendt til undersøgelse af patienter, der får udført en TKA-operation. I et studie af Martinez et al., 2007 [45] er en QST-protokol anvendt til at undersøge 20 patienter med artrose i knæet før og efter en TKA. Formålet hermed var at identificere faktorer, der har indvirkning på udviklingen af postoperative smerter. QST blev udført en enkelt gang før operationen og fire gange efter operationen. Perioden fra operationen og til QST undersøgelserne var på henholdsvis en dag, fire dage, en måned og fire måneder. Parametrene, der blev undersøgt ved QST, var tærskelværdier for temperatur, mekanisk smerte og hvordan de enkelte patienter responderede på udsættelse for temperaturer over tærskelværdierne. Studiet fandt, at der forekommer en sammenhæng mellem periodiske smerter efter operationen og de patienter, der oplever hyperalgesi under eksponering for varme. [45] Der skal imidlertid tages højde for, at der er flere fejlkilder forbundet med QST, da nøjagtigheden i høj grad afhænger af både patienten og undersøgerens præcision under udførelsen af de enkelte tests. Det må således forventes, at der kan forekomme variationer mellem enkelte QST udført på den samme patient. [41] I et studie af Arendt-Nielsen et al., 2015 [46], der er baseret på reviews af 17 studier, blev det ved anvendelse af QST fundet, at perifer og central sensibilisering er et prominent fænomen ved artrose.

2.5.3 Elektrofysiologiske undersøgelsesmetoder

De elektrofysiologiske undersøgelsesmetoder dækker over tests, der detekterer elektrisk aktivitet i kroppens celler. Aktionspotentialer i neuroner kan måles ved anvendelse af invasive eller non-invasive elektroder. Til monitorering af neuronernes funktionalitet i encephalon anvendes elektroencephalografi (EEG) mens der til monitorering af neuronernes funktionalitet i resten af kroppen anvendes elektroneurografi (ENG). Prisen for et EEG system er cirka 550.000 kr. [47]. For at en elektrofysiologisk undersøgelse kan anvendes til at stille en diagnose, skal resultaterne herfra understøttes af andre kliniske undersøgelser, herunder prøver og lægesamtaler. [48]

I et studie af Brown et al., 2013 [49], er EEG blevet anvendt til at undersøge, hvordan to patientgrupper med forskellige sygdomme opfatter smerte. I studiet indgik en gruppe af patienter med artrose og en gruppe patienter med fibromyalgi. Fibromyalgi er en sygdom, der forårsager muskel- og ledsmerter [?]. Hos de to patientgrupper blev det undersøgt, hvordan encephalon genererer signal for henholdsvis en forventning om og en decideret udløst smerte. Disse data sammenlignes med en kontrolgruppe bestående af raske personer. Der blev foretaget to målinger for at undersøge aktiviteten under forventning om smerte samt en måling under påført smerte. For hver forsøgsperson blev det efter målingerne undersøgt, fra hvilken elektrode, der blev detekteret den højeste amplitude, hvormed denne og de otte nærmeste elektroder blev udvalgt til yderligere analyse og udregning af gennemsnitlig amplitude. De gennemsnitlige målinger for de tre forsøgsgrupper er illustreret i figur 2.6.



Figur 2.6: Figuren illustrerer de gennemsnitlige målinger for de tre forsøgsgrupper. Tidspunkter for måling af baseline, tidlig forventning, sen forventning og oplevelse af smerte er angivet på figuren. [49]

Ud fra resultaterne var det muligt at undersøge i hvilke områder, der forekom særlig aktivitet ved hjælp af blandt andet billeddannende programmer. Resultaterne for studiet antyder, at de to patientgrupper responderer ens på forventningen om smerte på trods af, at fibromyalgipatienternes respons var kraftigere. Disse resultater indikerer, at denne tendens kan være generelt gældende for patienter med kroniske smerter. [49]

2.5.4 Vurdering af teknologier til smerteklassificering

En optimal teknologi som kan fungere som supplement til klinikerens beslutningstagen, skal opfylde en række kriterier. Et af disse kriterier er, at denne teknologi skal kunne anvendes til at klassificere smerte. Hvis ikke dette krav er opfyldt, vil teknologien ikke være anvendelig til at identificere patienterne i risikogruppen for at udvikle kroniske postoperative smerter, og vil hermed ikke kunne fungere som supplerende undersøgelsesmetode. Teknologien bør tilmed være minimalt invasiv i benyttelse. Ligeledes skal omkostningerne til anskaffelse af teknologien være mindst mulige.

De analyserede teknologier er vurderet ud fra ovenstående kriterier, og resultatet heraf ses i tabel 2.2

Teknologi	Smerteklassifikation	Minimalt invasiv	Anskaffelsespris [dkk]
fMRI	x	-	1 til 8 mio.
QST	x	x	200.000
Elektrofysiologisk	x	(x)	550.00

Tabel 2.2: I tabellen ses hvilke kriterier de forskellige teknologier opfylder. Ved angivelse af 'x', indikeres det, at kriteriet er opfyldt, mens ved '(x)' er kriteriet delvist opfyldt. Ved angivelse af '-' er kriteriet ikke opfyldt.

Alle de analyserede teknologier opfylder første kriterie vedrørende klassificering af smerte. Teknologierne opfylder ikke alle kravet vedrørende at skulle være minimalt invasiv.

Dette medfører, at fMRI bliver ekskluderet som et eventuelt supplement til klinikerens beslutningstagen. fMRI kategoriseres som en invasiv teknologi, da patienten får injiceret kontraststoffet før denne metode kan anvendes til klassificering af patienten. QST opfylder kriteriet ved ikke at benytte invasive metoder til klassificeringen af smerte. Elektrofysiologiske metoder opfylder kriteriet delvist, hvilket er et resultat af, at denne teknologi kan benytte både invasive og non-invasive elektroder til detektering af signalet, samt til dannelse af kunstig smerte gennem elektrisk stimulation.

I forhold til anskaffelsesprisen vil QST være billigst. Ved implementering af QST skal teknologien indkøbes fra ny, hvilket er et resultat af det denne på nuværende tidspunkt blot benyttes i forskningsregi. MR-scannere og elektrofysiologiske metoder er allerede implementeret og bliver benyttet til anden diagnosticering og behandling. Dermed kan det for disse teknologier antages, at nyt udstyr ikke nødvendigvis bør indkøbes. Dog betyder dét, at disse teknologier anvendes til diagnosticering af andre sygdomme, at der skal tages højde for længere ventetider for patienten end ved benyttelsen af QST.

Ud fra kriterierne og ovenstående overvejelser vil QST være den bedst egnede teknologi som supplement til klinikerens udvælgelse af patienter til en TKA-operation.

2.6 Problemafgrensning

Selvom TKA-operationerne bliver udført i henhold til de opstillede retningslinjer, oplever cirka 20% af patienterne kroniske postoperative smerter.

Klinikere er ansvarlige for beslutningen om hvorvidt en patient er egnet til at modtage en TKA-operation og formår succesfuldt at udvælge 75 til 81% af patienterne. Denne udvælgelse sker på baggrund af klinikernes erfaring, radiologiske fund, symptomvurdering samt patientens egne udtalelser. Den resterende patientgruppe har kroniske postoperative smerter, hvilket indikerer, at udvælgelsesmetoden ikke er fyldestgørende. Det kan derfor, for både klinikere og patienter være fordelagtigt, hvis den benyttede metode bliver optimeret. Optimeringen kan bestå i benyttelse af en teknologisk metodik, der kan supplere klinikerens beslutningstagen med faktiske resultater. Hvis en teknologisk metode skal kunne implementeres kræves det, at denne muliggør identificering af patientgruppen, hvis risiko for kroniske postoperative smerter, er størst. Den teknologiske metode bør ydermere være minimalt invasiv, omkostningseffektiv og let organisatorisk implementerbar. Disse kriterier opfyldes bedst af QST blandt de analyserede smertediagnosticeringsmetoder, hvormed det antydes, at QST vil være den teknologiske metode, som bedst vil kunne supplere klinikerens beslutningstagning.

2.6.1 Problemformulering

Hvilke konsekvenser er forbundet med implementering og brug af QST, som supplement til klinikerens vurdering af en patients henvisning til en TKA-operation?

Beskrivelse og tekniske karakteristika for teknologien (TEC)

3

3.1 Formål

I teknologidomænet analyseres QST som et teknologisk supplement til klinikerens vurdering af en patients henvisning til en TKA-operation. For at muliggøre dette kræves et kendskab til både klinikerens vurdering, og QST. Gennem problemanalysen er klinikernes vurdering undersøgt, mens teknologidomænet danner grundlag for kendskab til QST.

For at opnå et kendskab til QST forventes en forståelse for teknologiens egenskaber, virkemåde samt begrænsninger. Heraf undersøges det oprindelige formål med QST, med henblik på at bestemme, hvordan denne er tilpasset og brugt i sammenhæng med TKA-operationer. Dette bidrager til at vurderingsgrundlaget for hvorvidt QST kan fungere i samspil med klinikerens. Ydermere er det nødvendigt at vide hvad QST kan, hvordan dette er muligt, samt hvordan teknologien begrænses. Hermed er det muligt at vurdere hvordan og i hvilket omfang QST vil kunne fungere som supplement til klinikerens.

Da der er blevet tilegnet et kendskab til QST, er der grundlag for at undersøge og sammenligne QST med klinikerens vurdering. En sammenligning af QST med klinikerens metode er nødvendig for at kunne vurdere hvorvidt QST har evnen til at fungere som supplement hertil.

3.2 HTA spørgsmål

Teknologiens egenskaber:

- Hvad er teknologiens oprindelige fokusområde og hvordan er den tilpasset knæartrose på nuværende tidspunkt?
- Hvordan virker teknologien?

Teknologiens begrænsninger:

- Hvilke faktorer kan påvirke QST-resultaterne?

Sammenligning med nuværende metoder:

- Hvordan adskiller QST-teknologien og den nuværende medicinske teknologi sig fra hinanden?

3.3 Metode [1]

Vidensindsamlingen til besvarelse af det teknologiske område vil foregå ved at søge efter materiale igennem HTA/MTV agenturer, i relevante sundhedssystemer og sundhedsudbydere. Databasen der anvendes afhænger af hvilket spørgsmål det søges at besvare. Til indsamling af viden omhandlende de tekniske fakta vedrørende teknologien vil der blive benyttet relevante

datablade fra producenter, beskrivende reviews samt ekspertudtalelser fra personel som benytter teknologien, hvis nødvendig. Til besvarelse af hvordan teknologien er udviklet, samt benyttet vil der hovedsageligt blive benyttet reviews fra anerkendte databaser (PubMed, Medline, the Cochrane Library) samt bøger.

Til besvarelse af TEC-analysen bestræbes det at undgå grå litteratur, men i tilfælde, hvor der foreligger begrænsede mængder videnskabelig litteratur, kan der suppleres med non-peer reviewed-, ikke-publiceret materiale, fortroligt kommercielt materiale samt generelle internetsøgninger.

3.4 Fokusområde for QST

I perioden omkring det 19-århundrede blev der udviklet flere medicinske værktøjer til kvantitativ vurdering af sensation. Vurderingselementerne omhandlede klassificering af tærskelværdier, tolerancer og stimuli-respons forhold. Nødvendigheden af at kunne kvantificere en tilstand er en essentiel faktor for ethvert videnskabeligt resultat. Validiteten af et videnskabeligt resultat bør altså delvist dannes på grundlag af en kvantificering af relevante parametre. [41] Videnskabsmændene i det sene 19-århundrede beskæftigede i større grad tilstande som ikke forvoldte smerter, og heraf blev de mest populære fund relateret til de termiske sanser samt vibrationssensation. [50] QST muliggør at undersøge tilstande ved benyttelsen af andre stimuli. QST omfatter termisk, mekanisk og elektrisk, iskemisk og kemisk påvirkning. De forskellige stimuli bidrager til at kunne undersøge forskellige parametre. Parametrenes reaktion på de forskellige stimuli kan klassificeres som værende af forringet effekt eller forøget effekt, og visualiseres ofte igennem en VAS-skala. [41]

Til klassificering af tærskelværdier samt tolerancer bliver der generelt benyttet to basisgrupperinger, med- og uden reaktionstid. Der er blevet udviklet flere metoder til begge af disse basisgrupperinger. Grundlæggende for metoderne omhandlende reaktionstid er transmissions-tiden fra et påført stimuli til reaktion. Ved metoder uden benyttelse af reaktionstid indebærer det oftest 'ja/nej' reaktioner til intensitetsforudbestemte stimuli, eller benyttelsen af VAS, hvorefter intensiteten ændres. [50] [41]

QST betegnes som en subjektiv vurderingsmetode, da det omfatter en subjektiv respons indenfor et psykofysisk parameter til et kontrolleret stimuli. Den subjektive respons er på baggrund af patienten deltager under frivillig kontrol. [51] I og med vurderingsmetoden er subjektiv, kan resultatet påvirkes af distraktioner, kedsommelighed, mental træthed og forvirring. Ydermere kan en subjektiv respons ydermere bidrage til at patienten bevidst fejlrappporterer på baggrund af en interessekonflikt i resultatet. [41] Betydningen af at QST er en subjektiv vurderingsmetode, bør behandlingen omfatte kvalitetskontrol. Det nævnes af Yarnitsky and Granot, 2006 [41] at resultater opnået med 'Method of Limits' imellem sessioner kan variere op mod 150%, mens ved benyttelsen af en anden algoritme, opstod en individuel variation på 5%. For at sammenligne resultater imellem sessioner er korrelationsteknikker blevet kritiseret. Kritikken opstår på baggrund af at korrelationsteknikken måler styrken af forholdet, og ikke hvor ens disse er. En tilgang som blev fremstillet mere pålidelig er at udregne en repeterbarhedsfaktor (r), da med et konfidensinterval på 95 %, vil to resultater fra samme patient vil afvige med mindre end r -faktoren. Dog er skal det tages højde for at det kan være problematisk at udføre statistiske beregninger mellem grupper. Dette er tilfældet da resultaterne stammer fra subjektive vurderinger. [52] I relation til afbenyttelse

af normativ data vedrørende tærskelværdier og toleranceværdier skal den eksakte metode benyttelse. Hvis ikke der tages højde for den eksakte metode vil resultaterne sandsynligvis ikke være repræsentative og heraf afvige fra normalen der tages udgangspunkt i. [50]

3.5 Klinisk anvendelse af QST

QST bliver benyttet i flere kliniske sammenhænge. I mange tilfælde bliver QST benyttet som et diagnostisk værktøj, men kan også bruges til at vurdere omfanget af en sensorisk tilstand. Generelt bliver QST benyttet til at kunne klassificere sygdomme relateret til CNS, heraf flere omhandlende sensationstab. Dette er også tilfældet ved benyttelsen relateret til diabetes. 50% af diabetikere har perifer neuropati, og ved benyttelse af en termisk parameter af QST, kan man tidligt i patologien identificere dette. Neuropati er ligeledes fundet ved mange med nyresvigt, hvilket kan klassificeres igennem undersøgelse af vibrationssensation og termisksensation. [50] [41]

QST bliver også benyttet til at klassificere smerter, men til dette er der relateret en bred problemstilling. Problematikken opstår i og med det psykofysike og psykologiske som QST er bestående af, samt forskellig smerteopfattelse og smertereaktion. [50] Det er anerkendt at mennesker har forskellige smertemønstre i relation til smertestimuli. Det kan imellem patienter varierer fra at være yderst følsom til at være upåvirket. Forståelsen af disse smertemønstre, kan med den korrekte QST tilgang, bidrage til at kunne forudsige responsen af en given interaktion. [41] Ydermere kan QST i smerteregi, klinisk blive benyttet til at lave kvalitative sammenligninger mellem forskellige grupperinger [53].

Dog menes det generelt, at QST-resultater ikke, som det eneste resultat, kan benyttes til at stille en diagnose. Dette er på baggrund af tidligere nævnte årsager relateret til det subjektive aspekt i metoden. [41]

3.6 Tilpasning af QST til knæartrose

QST bliver i et knæartroseregi forsøgt benyttet til at skabe en association imellem præoperativ smertesensation og udviklingen af kronisk postoperativ smerte. Dette ses også ved den øgede interesse omhandlende kirurgisk afbenyttelse af teknologien. Der ses et potentiale i afbenyttelsen af præoperative QST-undersøgelser, som prædiktion vedrørende omfanget af kroniske postoperative smerter. [54] [55] QST kan undersøge denne smerte sensation igennem flere forskellige parametre eksempelvis, tryk-smerte tærskel (PPT), kulde- og varme-smerte tærskel og tolerance, kulde-smerte rating, temporal summation (TS), betinget smertemodulation (CPM) og dybt vævs respons på mekanisk smerte. [56] Dette er blot et uddrag af parametre der kan testes for skal skabe en smerte sensationsprofil. Ved benyttelse af mange parametre vil QST være omfattende og tidskrævende, hvilket kan antages at være problematisk i et klinisk regi. Dette skaber en begrænsning i benyttelse af QST, og dermed bør kun diagnostisk relevante måleparametre blive benyttet. [55] **Studier antyder, at central sensibilisering har betydning for udviklingen af kroniske postoperativesmerter efter en TKA-operation [44]. Central sensibilisering opstår som følge af de degenererende forandringer, der sker i et led på grund af knæartrose. [46] Efter en succesfuld og smertefri TKA operation forbedres den centrale sensibilisering i nogle tilfælde, mens ved patienter med kroniske postoperative smerter forbedres den centrale sensibilisering ikke i samme grad som for andre patienter. [46] Central**

sensibilisering kan undersøges ud fra forskellige QST parametre. Parametrene er PPT, TS og CPM. [46] Flere studier har ligeledes undersøgt hvilke parametre som er diagnostisk realiteret til udviklingen af kroniske postoperative smerter. Her er den største konsensus ligeledes, at QST parametrene med størst diagnostisk relevans, nedsat PPT, faciliteret TS og nedsat CPM. Alle af disse QST parametre kan profileres igennem mekanisk QST. [9] [27] [57]

I et studie af Petersen et al., 2016 [27], blev knæartrose patienter inddelt i grupperinger omhandlende deres QST-resultater vedrørende TS og CPM. Disse inddelinger resulterede i at hverken TS eller CPM, som enkeltstående måleparameter, statistisk kan benyttes som indikerende faktor for en patients postoperative resultat. Studiet indikerer heraf at patienter både med faciliteret TS og nedsat CPM, er i øget risiko for at udvikle kroniske postoperative smerter. Dette resultat understreger at multiple QST parametre bør benyttes for at QST kan opfylde dets kliniske formål. [27] Flere studier indikerer at udbredt hyperalgesi kan være et prædiktivt QST parameter, omhandlende en patients kroniske postoperative smerter. [27] [54] Modsat indikerer studiet af Wylde, 2015 [57], at udbredt hyperalgesi ikke er en prædiktiv faktor for en patientens resultat af TKA, men at dette blot er et parameter som kunne give en ekstra værdi til klassificeringen af patienten. Dette er tilfældet da forhøjet udbredt hyperalgesi, vurderet igennem PPT, var associeret med alvorlige præoperative smerter. Den forhøjede udbredte hyperalgesi, var ydermere også associeret med kroniske postoperative smerter ved total hofte udskiftning, hvoraf det endnu ikke er påvist omhandlende TKA. [57]

Til videre analyse vil QST parameterene, PPT, TS og CPM udelukkende blive benyttet.

3.7 Her mangler virkemåde

3.8 Begrænsende faktorer ved benyttelse af QST

Ved benyttelsen af QST som supplement til klinkerens beslutning, bør teknologiens begrænsende faktorer vurderes. Som nævnt er den største konsensus omkring diagnostisk relevante QST-parametre PPT, TS og CPM. Ved benyttelsen af PPT, bør metodens udførsel undersøges. Det kan forestilles, at hvis de tre målinger til at danne PPT-værdien, udføres med for kort et interval, kan der opstå komplikationer. Hvis målingerne tages med for kort interval, kan det tænkes at en patient med faciliteret TS, vil resultere i en falsk positiv PPT-værdi. Dette er ensbetydende med at patientens faciliterede TS akkumulerer PPT målingen til en størrelsen, som reelt ikke er tilstede.

For at kunne benytte QST som et led i den diagnostiske process, kræves det at klinikerne har adgang til et sæt normativ data til klassificering af abnormale tilstande. Det normative datasæt skal bestå af normale tærskler og tolerancer, samt abnormale tærskler og tolerancer, førend klinikerne kan adskille patientgrupper fra hinanden. Udvikling af sådanne normative datasæt er nødvendigt førend en mulig implementering, eller, hvis tilgængelig, benytte studieproducerede sæt. Ved fremadrettet benyttelse af normative data kræves det at den nøjagtige metode fra produktionen heraf benyttes. Det er heraf yderst nødvendigt at et normativt datasæt produceres efter en procedure som med garanti kan benyttes andet steds. Hvis ikke kræves det en reproduktion af normative datasæt ved enhver ny implementering af QST. Hvis ikke den nøjagtige metode benyttes kan det forestilles at resultaterne vil afvige fra det normative datasæt, og heraf skabe falsk negativ/positiv(e) resultater. Heraf vil genbrugelige normativ datasæt hjælpe til at skabe pålidelig resultater, og dermed

højne teknologiens sensitivitet og specificitet. [50] Problematikken vedrørende benyttelsen af normativ data ses ligeledes i studiet af Petersen et al., 2016 [27], hvor forsøgspopulationen inddelles i grupperinger vurderet på baggrund af arbitrære valg. Det tydeliggøres tilmed i studiet, at en normative inddeling af patienter er nødvendig, og bør optimeres og gøres generaliserbar, førend implementering af QST. Optimeringen skal bidrage til at øge sensitiviteten og dermed øge muligheden for at kunne forudsige patienters reaktion på TKA. En anden metodisk problematik, på baggrund af metodens subjektive opbygning er, at algoritmerne ikke tager højde for patienternes intelligens, psykologiske tilstedeværelse eller at være biased mod et bestemt testresultat. Der kendes ikke til en metode som kan påvise om patienterne bevidst, som ubevidst, fejlrapporterer. [?]

Patientgruppen tilhørende knæartrose, er som beskrevet, i nogle tilfælde relateret til svær overvægt. Det kan tilmed forestilles, at nogle patienter tyndere end normalen, da patientmålgruppen befinder sig i den ældre del af befolkningen. Dette kan antages at medføre teknologiske begrænsninger ved benyttelse af mekanisk QST. Det kan forestilles, at det er svært at tilpasse en standardiseret cuff, til patienter som befinder sig i ydre punkterne for hver tilstand. Det kræves at teknologien kan tilpasses alle patientgrupper, og producere et korrekt resultat.

3.9 Her mangler sammenligning

4.1 Sikkerhed (SAF)

4.1.1 Formål

I sikkerhedsdomænet analyseres hvilke sikkerhedsmæssige konsekvenser, der kan forekomme ved implementering og brug af QST. Teknologien bør være sikker for både patienten og brugeren. Derfor er det nødvendigt at undersøge eventuelle sikkerhedsmæssige risici. Denne undersøgelse danner grundlag for en vurdering af hvorvidt QST er sikker at benytte, og deraf eventuelle konsekvenser ved brugen.

Patientsikkerhed undersøges, da patienterne eksponeres for QST, hvorfor det er nødvendigt at kende eventuelle sikkerhedsrisici ved brugen af denne metode. Ligeledes undersøges brugersikkerhed i forhold til klinikerens.

Såfremt implementeringen og brugen af QST er forbundet med sikkerhedsmæssige konsekvenser, skal det undersøges hvilke sikkerhedsmæssige foranstaltninger, der bør tages. Dette gøres for at sikre, at patient og sundhedspersonale ikke udsættes for unødige farer ved brug af QST. Ved identificering af sikkerhedsrisici og eventuelle sikkerhedsforanstaltninger er det muligt at imødegå nogle af konsekvenserne ved implementering af QST og hermed give et bedre grundlag for vurdering om, hvorvidt QST skal implementeres.

4.1.2 HTA spørgsmål

Patient- og brugersikkerhed:

- Hvilke sikkerhedsmæssige risici kan forekomme ved benyttelsen af teknologien, og hvordan forårsages disse?

Sikkerhedsforanstaltninger:

- Hvilke sikkerhedsforanstaltninger skal foretages ved benyttelsen af teknologien?

4.1.3 Metode

Til sikkerhedsafsnittet skal der hovedsageligt bruges kilder omhandlende QST-undersøgelsens effekt og eventuelle skader på forsøgspersoner. Studierne skal have fokus på rapporteringen af, hvordan teknologien påvirker forsøgspersonen, frem for hvordan teknologien fungerer, da dette er undersøgt i teknologianalysen ???. Studier, der ikke søger at dokumentere effekten af påvirkning af forsøgspersoner, vil derfor ikke blive medtaget. Det blev i teknologianalysen ??? bestemt at fokusere på tre QST-undersøgelser: PPT, TS og CMP, og undersøgelser ved mekanisk trykpåvirkning. For at vurdere hvorvidt disse undersøgelser er sikre for forsøgspersonen og klinikerens, er det nødvendigt at undersøge grænser for, hvad hud og muskelvæv kan modstå af mekanisk trykpåvirkning. Den fundne grænse skal sammenlignes med hvad en forsøgsperson kan blive udsat for ved en QST-undersøgelse for at kunne vurdere, om denne påvirkning kan påføre forsøgspersonen skade. Sikkerhedsforanstaltninger, som skal

indføres for at opnå en sikker og pålidelig undersøgelse, skal ligeledes undersøges. Dette gøres ved undersøgelse af forskellige typer af QST-undersøgelser. Derfor vil der blive søgt efter studier, der sammenholder forskellige QST-systemer og protokoller for derudfra at kunne undersøge hvor i undersøgelsen, der kan opstå risiko for skader og hvordan disse kan forebygges. Ligeledes vil dette kunne give viden om, hvordan undersøgelsen kan sikres at være præcis og pålidelig.

4.1.4 Sikkerhedsmæssige risici for patienter

Det er ifølge internationale retningslinjer for patientsikkerhed bestemt, at fagpersoner i bedste evne og hensigt skal agere med patienters helbred som førsteprioritet [58]. Dette er en af mange retningslinjer, som skal sørge for et internationalt dækkende budskab om, at der til enhver tid skal overvejes, hvorvidt en patient kan bringes i fare eller påføres skade. Det er således bestemt for at sikre overholdelse af etiske principper for behandling af patienter eller ved forskning, der inddrager forsøgspersoner. Det fremgår desuden af internationale retningslinjer, at nationale retningslinjer ligeledes altid skal overholdes for det pågældende land hvori behandling eller undersøgelse udføres. Da det her undersøges, hvorvidt QST kan implementeres på ortopædkirurgiske afdelinger i Region Nordjylland, bør det overvejes, om QST overholder internationale såvel som de danske retningslinjer for patientsikkerhed. [58]

Da QST bevidst påfører patienter smerte, skal det undersøges, hvorvidt denne smerte er acceptabel i forhold til, om det pådrager patienten skader. Internationale retningslinjer proklamerer, at en given undersøgelse altid skal underlægges klinikerens viden og bevidsthed om at sikre patientens helbred, velfærd og rettigheder. Det fremsiges ligeledes, at selv om forsknings primære mål er at finde ny viden, må forskningens formål aldrig overskygge patientsikkerheden. Forskningens udbytte skal derfor altid være af større betydning end den risiko, det kan udsætte patienten for. [58] Dette betyder generelt, at det kan accepteres, at en patient udsættes for radioaktiv stråling, hvis det indgår som led i diagnosticering af en livstruende tumor. I dette tilfælde overskygger risikoen ved undersøgelsen den risiko, som truer patientens helbred. Danske nationale kliniske retningslinjer (NKR) for patientsikkerhed er opsat af Sundhedsstyrelsen og omhandler primært sundhedsprofessionelle indenfor den danske sundhedssektor. Her udgør retningslinjerne et sundhedsfagligt beslutningsværktøj, som skal sikre, at udredning, behandling, pleje og rehabiliteringen i sektoren er ensartet og af høj kvalitet. [59, 60] De danske retningslinjer skal således sikre, at en patient vil få samme behandling af samme kvalitet ligegyldigt hvor i landet, denne bliver behandlet. Disse retningslinjer sikrer ligeledes, at viden deles mellem regioner sådan en patient altid vil modtage den bedst tilgængelige behandling. [59]

På baggrund af teknologianalysen i afsnit ?? er der udvalgt tre tests fra QST, der undersøger PPT, TS og CPM. Disse anvender alle at påvirke patienten med mekanisk tryk. Det undersøges derfor, hvilke fysiske grænser hud og muskelvæv har overfor trykpåvirkning og hvornår et givent tryk kan udøve skader på kroppen.

Mekanisk trykpåvirkning

Ved mekanisk påvirkning af tryk vil materialer deformeres, hvis kraften overstiger deres flydegrænse, hvorefter materialet vil brydes, hvis kraftpåvirkningen fortsætter og overstiger brudstyrken. Materialer som hud og blødt væv har en vis form for elasticitet, men vil ligeledes

deformeres ved en kraftpåvirkning og destrueres, når cellerne i kroppen ødelægges. Dette vil ses som blodansamlinger og sår på hud og væv. Skader som følge af tryk afhænger af størrelsen på kraften og størrelsen af området som påvirkes. Det følger forholdet $P = \frac{F}{A}$, hvor F er kraften og A er arealet som påvirkes. Et studie af Ní Annaidh et al., 2012 [61] har undersøgt mekaniske egenskaber ved menneskehud. Undersøgelsen har anvendt samples af menneskehud fra ryggen som er blevet testet i et apparatur som kan strække huden. Elasticiteten af huden er blevet målt løbende og indtil huden nåede sin brudstyrke. Brudstyrken blev bestemt til $21,6 \pm 8,4 MPa$. Dette stemmer overens med en studie af Jussila et al., 2005 [62], der undersøgte mulighederne for at finde en simulator for menneskehud til tests af skydevåben. For at kunne fungere som et brugbart alternativ skulle simulanten overholde nogle grænser, her i blandt en brudstyrke på $18 \pm 2 \frac{N}{mm^2} = 18 MPa$. Andre studier har undersøgt effekten af påvirkning af tryk over en længere periode. Sanders et al., 1995 [63] har sammenholdt forskellige studier og fundet, at skader på hud og muskelvæv ligeledes opstår ved en svagere kraftpåvirkning, hvis påvirkningen sker over længere tid. I litteraturen findes det, at der sker skader på hud og underliggende muskelstrukturer ved tryk på $13 kPa$ ved påvirkning i to timer. Ved samme påvirkning i seks timer sker komplet muskelnekrose. [63]

Overholdelse af skadegrænser

Der kan således opstilles bestemte grænser for, hvad hud og muskelvæv kan modstå i forhold til påvirkning ved mekanisk tryk. Disse grænser kan sammenlignes med hvad en patient påvirkes med ved en QST-undersøgelse.

Ifølge [?], [?], som en del af QST-protokollen fra German Research Network on Neuropathic Pain (DFNS), bliver en patient ved PPT-testen i en QST-undersøgelse, maksimalt udsat for et mekanisk tryk på $2000 kPa$, på et område af $1 cm^2$. Dette er mindre end $21,6 \pm 8,4 MPa$, som det er fundet af Ní Annaidh et al., 2012 [61] og Jussila et al., 2005 [62]. Det er dog over $13 kPa$, som ifølge Sanders et al., 1995 [63] kan påføre muskelskader. Dette er dog kun ved trykpåvirkning i seks timer, hvor trykpåvirkning ved QST-undersøgelsen kun tager omkring 40 sekunder [?].

4.1.5 Sikkerhedsforanstaltninger

Selvom der generelt ikke er farer forbundet med udførelsen af en QST-undersøgelse, bør der stadig tages sikkerhedsforanstaltninger i forhold til at sikre reproducerbarhed af de enkelte undersøgelser. I et studie af Shy et al., 2003 [64] foretages en vurdering af QST i forhold til parametrene effektivitet, anvendelighed og sikkerhed. I studiet blev anvendt artikler om forskellige QST-systemer, der blev sammenlignet i forhold til de ovennævnte parametre. I studiet konkluderes, at det er væsentligt, at klinikerne modtager vejledning fra producenterne af QST-udstyr i forhold til anvendelsen heraf. Undersøgelserne bør desuden foretages i et stille lokale, der er indrettet til formålet, således resultaterne af undersøgelsen ikke påvirkes af udefrakommende faktorer. Derudover bør den samme kliniker udføre både den primære og de eventuelt opfølgende undersøgelser, da dette sikrer, at disse bliver foretaget på samme måde hver gang, hvormed reproducerbarheden øges. [64] Ved anvendelse af computerstyrede metoder til QST-undersøgelse, er udførelsen af undersøgelserne i højere grad automatiseret og dermed mere uafhængige af klinikerne [?]. Det kan dermed antages, at der skal tages færre sikkerhedsforanstaltninger i forhold til opnåelse af korrekte resultater.

4.1.6 Konklusion

Af QST-protokollen udarbejdet af DFNS fremgår det, at det maksimale mekaniske tryk, en patient bliver udsat for, er $2000kPa$, hvilket overskrider grænsen for muskelskade fundet i studiet af Sanders et al., 1995 [63]. Da denne grænseværdi er fundet efter trykpåvirkning i seks timer og QST-undersøgelsen udføres på cirka 40 sekunder vurderes det imidlertid, at skaderne forbundet hermed vil være minimal. Dermed overholdes de internationale retningslinjer for patientsikkerhed, da det resultat, der opnås ved QST-undersøgelsen, bidrager til vurderingen af, hvorvidt patienten skal have foretaget en TKA-operation. Dette udbytte er af større betydning end de sikkerhedsmæssige risici, patienten udsættes for. For at sikre, at balancen mellem udbytte og risici opretholdes, er det væsentligt at der tages visse sikkerhedsforanstaltninger for at sikre høj reproducerbarhed af undersøgelserne. Sikkerhedsforanstaltningerne omfatter blandt andet vejledning fra producenter, korrekt indretning af lokale og at patienten konsulterer den samme kliniker gennem alle QST-undersøgelser. Computerstyrede metoder er mere automatiserede, hvorved det vurderes at det vil kræve minimal indførelse af sikkerhedsforanstaltninger.

4.2 Klinisk effektivitet (EFF)

4.2.1 Formål

I dette domæne analyseres teknologiens virkningsgrad ud fra et klinisk synspunkt. For at kunne danne et vurderingsgrundlag for, hvorvidt QST skal implementeres som supplement til klinikerens vurdering, er det nødvendigt at undersøge teknologiens effektivitet og egentlige effekt.

For at kunne vurdere virkningsgraden af QST er det nødvendigt at undersøge de gavnlige og ikke-gavnlige effekter ved brug af teknologien. Denne effektivitetsvurdering skal danne grundlag for forståelsen af, hvordan QST kan fungere som supplement til klinikerens beslutning. Ligeledes vil effekten af teknologien sammenholdes med de eventuelle sikkerhedsmæssige risici. Dette skal samlet bidrage til beslutningen om hvorvidt udbyttet af QST er tilstrækkelig i forhold til sikkerhedsmæssige risici, og i hvilken grad QST kan benyttes som supplement.

Ifølge analysen omhandlende klinikerens vurdering, er denne ikke god nok. Beslutningen bygger ikke på tilstrækkelig viden, hvoraf det er relevant at vurdere nøjagtigheden af QST. Nøjagtigheden af resultaterne fra QST skal undersøges, med henblik på at belyse hvorvidt patienter som udvikler kroniske postoperative smerter kan identificeres mere præcist ved anvendelse af QST end uden QST. Derudover vil det også være relevant at undersøge, hvor stor en andel af patienter uden kroniske postoperative smerter teknologien kan identificere. Da patienterne med kroniske postoperative smerter bør kunne identificeres præoperativt med QST som supplement, er det relevant at undersøge hvordan resultaterne for patienter uden kroniske postoperative smerter og en patient med kroniske postoperative smerter adskiller sig fra hinanden. Repeterbarheden for QST undersøges ydermere for at kunne vurdere dens egnethed som et pålideligt supplement til klinikerens beslutning.

4.2.2 HTA spørgsmål

Effekt og skade:

- Hvilke gavnlige effekter er der ved teknologien?

- Hvad er net-benefit af teknologien?

Nøjagtighed:

- Hvordan adskiller de præoperative QST-resultater sig fra patienter med kroniske postoperative smerter og patienter uden kroniske postoperative smerter?
- Hvorvidt er undersøgelser med QST repeterbare?

4.3 Omkostninger og økonomisk evaluering (ECO)

4.3.1 Formål

I økonomidomænet undersøges det hvilke økonomiske konsekvenser der vil opstå ved implementeringen af QST. Ved implementering af QST forventes det, at der vil være nyttilkomne omkostninger i forhold til indkøb, personel, drift og anlæg. Disse økonomiske omkostninger skal redegøres for, således disse kan danne grundlag for den finansielle beslutning om hvorvidt QST bør implementeres som supplement til klinikerne.

Herudover undersøges de økonomiske omkostninger ved QST i forhold til effekten. Udbyttet ved anvendelsen af QST sættes dermed op mod omkostningerne heraf. Denne sammenligning, bidrager til at danne grundlag for en vægtning af de økonomiske konsekvenser kontra effekt, ved implementering og brug af QST.

Ved implementering af QST vil der ske økonomiske ændringer, og dermed opstår der en problematik omhandlende ressourceudnyttelse. Hvortil den økonomiske byrde tilhører, afhænger af hvorvidt implementeringen foregår på regionalt eller nationalt plan. For at kunne vurdere den egentlige budgetpåvirkning er det nødvendigt at kende omfanget af omkostningerne relateret til implementeringen og brugen af QST.

4.3.2 HTA spørgsmål

Teknologiens effekt ift omkostninger:

- Hvad indebærer omkostningerne kontra effekt ved indførelsen af QST? (Cost effectiveness) E0006

Ressourceudnyttelse:

- Hvordan vil implementeringen af teknologien påvirke regionens budget? G0007, F0012

Resultat af søgning (foreløbig overskrift)

Til besvarelse af spørgsmålet: Hvad indebærer omkostningerne ved indførelsen af teknologien som supplement til klinikerens beslutning?

Er en større mængde litteratur gennemgået, hvoraf resultatet af litteratursøgningen ikke var tilfredsstillende. Det fastslås at grundet den begrænsede benyttelse af QST foreligger der begrænsede økonomiske analyser der netop belyser den ønskede problemstilling. Der må derfor stilles yderligere uddybende spørgsmål for at danne grundlag for en estimeret udgift ved implementering af QST. Det forventes at svar på spørgsmålene må findes hos producenter, samt andet grå litteratur, med det forbehold at resultatet må blive en estimeret omkostning.

Der opstilles derfor følgende uddybende spørgsmål som vil blive stillet til producenter af QST udstyr.

Uddybende spørgsmål

- Hvad er indkøbsprisen på QST udstyr?
- Hvad kræver det at benytte QST udstyr?
- Hvad er vedligeholdelses udgifter ifm QST udstyr?

“Hvad er indkøbsprisen på QST udstyr?”

For at få en idé om etableringsomkostningerne for QST udstyr er der blevet taget kontakt til hhv. *Medoc*, *Somedic* og *Nocitech* der er leverandører af udstyr. I den forbindelse er der indhentet indkøbspriser, driftsomkostninger samt bruger specifikationer i forhold til hvad det kræves at benytte udstyret. Med etablering- og brugsomkostninger fastslået er det sammenholdt med patient flow muligt at estimere meromkostningen forbundet med implementeringen af QST som et supplement til klinikernes beslutning om endelig indstilling til TKA - behandling.

Omkostninger for implementering af Nocitech

Fra Nocitech er der oplyst følgende priser, hvor fra der er lavet estimeringer i forhold til antallet af patienter der indstilles til TKA operation. Priserne listet er for Trykaglomeret der måler Stimulus-Response (Pain Detection Threshold + Pain Tolerance Threshold), TSP + CPM).

- Listepriis: 125.000 DKK
- 2 stk. Cuff i alt 1600DKK pr 200 Måling.
- Undersøgelses tid, ca. 15 min.
- Der skal påregnes en halv dag pr person til oplæring.

Tal fra Dansk Knæalloplastikregister Årsrapport 2016 viser at antallet af primære TKA operationer i region nordjylland ligger i omegnen af 500-600 alloplastikker årligt.[6]

Med udgangspunkt i 600 patienter vil det koste Region Nordjylland: 4.800DKK for materialer og ca. 58.500 i lønomkostninger, her regnes der med omkostninger til sygeplejerskelønninger på 292,21DKK pr time.[?][?]

Litteratur

- [1] The Eunethhta Ja, European Union, and Health Programme. EUnetHTA JA2 WP8 DELIVERABLE HTA Core Model (®) Online User guide. 2:1–27, 2015.
- [2] Andrew David Beswick, Vikki Wylde, Rachael Gooberman-Hill, Ashley Blom, and Paul Dieppe. What proportion of patients report long-term pain after total hip or knee replacement for osteoarthritis? A systematic review of prospective studies in unselected patients. *BMJ open*, 2(1):e000435, 2012. ISSN 1471-2474. doi: 10.1186/s12891-015-0469-6. URL <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3289991&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.
- [3] Søren Brostrøm. *Knæartrose - nationale kliniske retningslinjer og faglige visitationsretningslinjer*. 2012. ISBN 978-87-7104-442-3.
- [4] Torben Schroder. *Basisbog i medicin og kirugi 5. udgave*. 2012.
- [5] Esben Maulengracht Flachs, Louise Eriksen, and Mette Bjerrum Koch. Sygdomsbyrden i danmark. 2015.
- [6] Anders Odgaard and Gentofte Hospital. Dansk Knæalloplastikregister, Årsrapport 2016.
- [7] DKR. *Dansk Knæalloplastik Register*. 2011. ISBN 9788799336432.
- [8] Martin Lind. Artrose, Knæ, 2016. URL <https://www.sundhed.dk/sundhedsfaglig/laegehaandbogen/ortopaedi/tilstande-og-sygdomme/knae/artrose-knae/>.
- [9] Kristian Kjær Petersen, Lars Arendt-Nielsen, Ole Simonsen, Oliver Wilder-Smith, and Mogens Berg Laursen. Presurgical assessment of temporal summation of pain predicts the development of chronic postoperative pain 12 months after total knee replacement. *Pain*, 156(1):55–61, 2015. ISSN 18726623. doi: 10.1016/j.pain.0000000000000022.
- [10] Andrew David Beswick, Vikki Wylde, Rachael Gooberman-Hill, Ashley Blom, and Paul Dieppe. What proportion of patients report long-term pain after total hip or knee replacement for osteoarthritis? A systematic review of prospective studies in unselected patients. *BMJ open*, 2(1):12, 2012. ISSN 1471-2474. doi: 10.1186/s12891-015-0469-6. URL <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3289991&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.
- [11] V I Sakellariou, L A Poultsides, Y Ma, J Bae, S Liu, and T P Sculco. Risk Assessment for Chronic Pain and Patient Satisfaction After Total Knee Arthroplasty. *Orthopedics*, 39(1):55–62, 2016. ISSN 0147-7447. doi: 10.3928/01477447-20151228-06. URL <http://www.wolterskluwer.com/doi/10.3928/01477447-20151228-06>.
- [12] Cale A. Jacobs, Christian P. Christensen, and Tharun Karthikeyan. Patient and Intraoperative Factors Influencing Satisfaction Two to Five Years After Primary Total

- Knee Arthroplasty. *Journal of Arthroplasty*, 29(8):1576–1579, 2014. ISSN 15328406. doi: 10.1016/j.arth.2014.03.022. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.arth.2014.01.008>.
- [13] Robert B. Bourne, Bert M. Chesworth, Aileen M. Davis, Nizar N. Mahomed, and K. D J Charron. Patient satisfaction after total knee arthroplasty: Who is satisfied and who is not? *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 468(1):57–63, 2010. ISSN 0009921X. doi: 10.1007/s11999-009-1119-9.
- [14] Finn Bojsen Møller. *Bevægeapparatets anatomi*. Gyldendal Akademisk, 12 edition, 2001. ISBN 9788762803077.
- [15] Adobe Stock. URL <https://stock.adobe.com/dk/>.
- [16] C. Juhl, R. Christensen, E. M. Roos, W. Zhang, and H. Lund. Impact of exercise type and dose on pain and disability in knee osteoarthritis: A systematic review and meta-regression analysis of randomized controlled trials. *Arthritis and Rheumatology*, 66(3):622–636, 2014. ISSN 23265205. doi: 10.1002/art.38290.
- [17] Søren T. Skou. Træning som smertestillende medicin ved artrose er effektiv og uden alvorlige bivirkninger. *ugeskrift for læger*, 178:1139, 2016. URL <http://ugeskriftet.dk/videnskab/traening-som-smertestillende-medicin-ved-artrose-er-effektiv-og-uden-alvorligehttp://ugeskriftet.dk/files/V68364{ }0.pdf>.
- [18] Søren T. Skou, Roos E.M., Laursen M.B., Rathleff M.S., Arendt-Nielsen L., and Simonsen O. A Randomized, Controlled Trial of Total Knee Replacement. *New England Journal of Medicine*, 373(17):1597–1606, 2015. ISSN 1533-4406. doi: 10.1056/NEJMoa1505467. URL [http://www.nejm.org/doi/pdf/10.1056/NEJMoa1505467\\$\\delimiter"026E30F\\$nhttp://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS{& }PAGE=reference{& }D=emed13{& }NEWS=N{& }AN=2015469720\\$\\delimiter"026E30F\\$nhttp://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS{& }PAGE=reference{& }D=emed13{& }NEWS=N{& }AN=26488691](http://www.nejm.org/doi/pdf/10.1056/NEJMoa1505467$\\delimiter).
- [19] ROBODOC®. Prosthetic Implants. URL <http://www.robodoc.com/patient{ }about{ }faqs.html>.
- [20] Marco Sanna, Cristina Sanna, Francesco Caputo, Giuseppe Piu, and Massimiliano Salvi. Surgical approaches in total knee arthroplasty. *Joints*, 1(2):34–44, 2013. ISSN 2282-4324. doi: 10.11138/jts/2013.1.2.034. URL <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=4295696{& }tool=pmcentrez{& }rendertype=abstract>.
- [21] The Stone Clinic Orthopedic Surgery and & Rehabilitation. Total knee replacement surgical technique. URL <http://www.stoneclinic.com/tkrillustration>.
- [22] G. N. Lewis, D. A. Rice, P. J. McNair, and M. Kluger. Predictors of persistent pain after total knee arthroplasty: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Anaesthesia*, 114(4):551–561, 2015. ISSN 14716771. doi: 10.1093/bja/aeu441.
- [23] Amiram Carmon. *Classification of chronic pain*. 1994. ISBN 0931092051.

- [24] Bartholomwe EF, Martini FH, Nath JL. *Fundamental of Anatomy and Physiology*. Pearson, 9th edition, 2012. ISBN 9780321709332. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [25] Jørgen B. Dahl, Lars Arendt-Nielsen, and Troels Staehelin Jensen. *Smerter (Baggrund, Evidens, Behandling)*. 3 udgave edition, 2013. ISBN 9788777497032.
- [26] L. Giangregorio, A. Papaioannou, A. Cranney, N. Zytaruk, and J. D. Adachi. Fragility Fractures and the Osteoporosis Care Gap: An International Phenomenon. *Seminars in Arthritis and Rheumatism*, 27(1):293–305, 1997. ISSN 00490172. doi: 10.1016/j.semarthrit.2005.11.001.
- [27] Kristian Kjær Petersen, Thomas Graven-Nielsen, Ole Simonsen, Mogens Berg Laursen, and Lars Arendt-Nielsen. Preoperative pain mechanisms assessed by cuff algometry are associated with chronic postoperative pain relief after total knee replacement. *Pain*, 157:1, 2016. ISSN 0304-3959. doi: 10.1097/j.pain.0000000000000531. URL <http://content.wkhealth.com/linkback/openurl?sid=WKPTLP:landingpage{&}an=00006396-900000000-99581>.
- [28] Matthew Thakur, Anthony H Dickenson, and Ralf Baron. Osteoarthritis pain: nociceptive or neuropathic? *Nature reviews. Rheumatology*, 10(6):374–80, 2014. ISSN 1759-4804. doi: 10.1038/nrrheum.2014.47. URL <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24686507>.
- [29] Lars Arendt-Nielsen, Hongling Nie, Mogens B. Laursen, Birgitte S. Laursen, Pascal Madeleine, Ole H. Simonsen, and Thomas Graven-Nielsen. Sensitization in patients with painful knee osteoarthritis. *Pain*, 149(3):573–581, 2010. ISSN 03043959. doi: 10.1016/j.pain.2010.04.003. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.pain.2010.04.003>.
- [30] T. Graven-Nielsen, T. Wodehouse, R. M. Langford, L. Arendt-Nielsen, and B. L. Kidd. Normalization of widespread hyperesthesia and facilitated spatial summation of deep-tissue pain in knee osteoarthritis patients after knee replacement. *Arthritis and Rheumatism*, 64(9):2907–2916, 2012. ISSN 00043591. doi: 10.1002/art.34466.
- [31] Marta Gonzalez Sáenz de Tejada, Antonio Escobar, Carmen Herrera, Lidia García, Felipe Aizpuru, and Cristina Saraqueta. Patient expectations and health-related quality of life. *Value in Health*, 13(4):447–454, 2010. ISSN 1369-7625. doi: 10.1111/j.1524-4733.2009.00685.x. URL <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20088892>.
- [32] Søren T. Skou, Ewa M. Roos, Mogens B. Laursen, Michael S. Rathleff, Lars Arendt-Nielsen, Ole Simonsen, and Sten Rasmussen. Criteria used when deciding on eligibility for total knee arthroplasty - Between thinking and doing. *Knee*, 23(2): 300–305, 2016. ISSN 18735800. doi: 10.1016/j.knee.2015.08.012. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.knee.2015.08.012>.
- [33] Cornelia M. Borkhoff, Gillian A. Hawker, Hans J. Kreder, Richard H. Glazier, Nizar N. Mahomed, and James G. Wright. The effect of patients’ sex on physicians’ recommendations for total knee arthroplasty. *Cmaj*, 178(6):681–687, 2008. ISSN 08203946. doi: 10.1503/cmaj.071168.

- [34] J. G. Wright, P. Coyte, G. Hawker, C. Bombardier, D. Cooke, D. Heck, R. Dittus, and D. Freund. Variation in orthopedic surgeons' perceptions of the indications for and outcomes of knee replacement. *Cmaj*, 152(5):687–697, 1995. ISSN 08203946.
- [35] Christopher J. Dy, Stephen Lyman, Carla Boutin-Foster, Karla Felix, Yoon Kang, and Michael L. Parks. Do Patient Race and Sex Change Surgeon Recommendations for TKA? *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 473(2):410–417, 2014. ISSN 15281132. doi: 10.1007/s11999-014-4003-1.
- [36] Wolfgang Walz. *fMRI techniques and protocols, Chapter 1*. 2009. ISBN 9781603279185.
- [37] Laice Glover. Why Does an MRI Cost So Darn Much?, 2014. URL <http://time.com/money/2995166/why-does-mri-cost-so-much/>.
- [38] Elle L Parks, Paul Y Geha, Marwan N Baliki, Jeffrey Katz, Thomas J Schnitzer, and A Vania Apkarian. NIH Public Access. 15(8):1–18, 2012. doi: 10.1016/j.ejpain.2010.12.007.Brain.
- [39] Takeshi Hiramatsu, Kazuyoshi Nakanishi, Shinpei Yoshimura, Atsuo Yoshino, Nobuo Adachi, Yasumasa Okamoto, Shigeto Yamawaki, and Mitsuo Ochi. The dorsolateral prefrontal network is involved in pain perception in knee osteoarthritis patients. *Neuroscience Letters*, 581:109–114, 2014. ISSN 18727972. doi: 10.1016/j.neulet.2014.08.027. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.neulet.2014.08.027>.
- [40] Craig M Bennett, Abigail A Baird, Michael B Miller, and George L Wolford. Neural Correlates of Interspecies Perspective Taking in the Post-Mortem Atlantic Salmon: An Argument For Proper Multiple Comparisons Correction. *Journal of Serendipitous and Unexpected Results*, 1(1):1–5, 2011. ISSN 1757-790X. doi: 10.1136/bcr.07.2008.0593. URL <http://www.jsur.org/v1n1p1>.
- [41] David Yarnitsky and Michal Granot. *Handbook of Clinical Neurology, Chapter: Quantitative Sensory Testing*, volume 81. 2006. ISBN 9780444519016. doi: 10.1016/S0072-9752(06)80031-X. URL <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18808849>
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S007297520680031X>.
- [42] NociTech. Cuff Pressure Algometry, 2016. URL <http://nocitech.com/technology.html>.
- [43] R. Rolke, R. Baron, C. Maier, T. R. Tölle, R. D. Treede, A. Beyer, A. Binder, N. Birbaumer, F. Birklein, I. C. Bötefür, S. Braune, H. Flor, V. Häge, R. Klug, G. B. Landwehrmeyer, W. Magerl, C. Maihöfner, C. Rolko, C. Schaub, A. Scherens, T. Sprenger, M. Valet, and B. Wasserka. Quantitative sensory testing in the German Research Network on Neuropathic Pain (DFNS): Standardized protocol and reference values. *Pain*, 123(3):231–243, 2006. ISSN 03043959. doi: 10.1016/j.pain.2006.01.041.
- [44] A. K. Suokas, D. A. Walsh, D. F. McWilliams, L. Condon, B. Moreton, V. Wylde, L. Arendt-Nielsen, and W. Zhang. Quantitative sensory testing in painful osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis. *Osteoarthritis and Cartilage*, 20

- (10):1075–1085, 2012. ISSN 10634584. doi: 10.1016/j.joca.2012.06.009. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.joca.2012.06.009>.
- [45] Valéria Martinez, Dominique Fletcher, Didier Bouhassira, Daniel I. Sessler, and Marcel Chauvin. The evolution of primary hyperalgesia in orthopedic surgery: Quantitative sensory testing and clinical evaluation before and after total knee arthroplasty. *Anesthesia and Analgesia*, 105(3):815–821, 2007. ISSN 00032999. doi: 10.1213/01.ane.0000278091.29062.63.
- [46] L. Arendt-Nielsen, L. L. Egsgaard, K. K. Petersen, T. N. Eskehave, T. Graven-Nielsen, H. C. Hoeck, and O. Simonsen. A mechanism-based pain sensitivity index to characterize knee osteoarthritis patients with different disease stages and pain levels. *European Journal of Pain (United Kingdom)*, 19(10):1406–1417, 2015. ISSN 15322149. doi: 10.1002/ejp.651.
- [47] Biosemi. How much does a BioSemi biopotential measurement system cost?, 2016. URL <http://www.biosemi.com/faq/prices.htm>.
- [48] Andrew J. Robinson and Lynn Snyder-Mackler. *Clinical Electrophysiology*. 2008.
- [49] Christopher A. Brown, Wael El-Deredy, and Anthony K. P. Jones. When the brain expects pain: common neural responses to pain anticipation are related to clinical pain and distress in fibromyalgia and osteoarthritis. *European Journal of Neuroscience*, 2013.
- [50] David Yarnitsky. QUANTITATIVE SENSORY TESTING. *MUSCLE & NERVE*, 20(2):198–204, 1997. doi: 10.1002/(SICI)1097-4598(199702)20:2<198::AID-MUS10>3.0.CO;2-#.
- [51] M. Mücke, H. Cuhls, L. Radbruch, R. Baron, C. Maier, T. Tölle, R. D. Treede, and R. Rolke. Quantitative sensorische Testung (QST). *Schmerz*, pages 1–8, 2016. ISSN 14322129. doi: 10.1007/s00482-015-0093-2.
- [52] R. Zaslansky and D Yarnitsky. Clinical applications of quantitative sensory testing (QST). *J Neurol Sci*, 153(2):215–238, 1998. ISSN 0022-510X. doi: S0022-510X(97)00293-1[pil]. URL http://ac.els-cdn.com/S0022510X97002931/1-s2.0-S0022510X97002931-main.pdf?{}_tid=fce4f862-65e3-11e6-9300-00000aab0f6c{&}acdnat=1471594235{&}488877b84eac51e4ebbe77e513215590.
- [53] Lars Arendt-Nielsen and David Yarnitsky. Experimental and Clinical Applications of Quantitative Sensory Testing Applied to Skin, Muscles and Viscera. *Journal of Pain*, 10(6):556–572, 2009. ISSN 15265900. doi: 10.1016/j.jpain.2009.02.002. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpain.2009.02.002>.
- [54] V. Wylde, S. Palmer, I. D. Learmonth, and P. Dieppe. The association between pre-operative pain sensitisation and chronic pain after knee replacement: An exploratory study. *Osteoarthritis and Cartilage*, 21(9):1253–1256, 2013. ISSN 10634584. doi: 10.1016/j.joca.2013.05.008. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.joca.2013.05.008>.

- [55] Troels H. Lunn, Lissi Gaarn-Larsen, and Henrik Kehlet. Prediction of postoperative pain by preoperative pain response to heat stimulation in total knee arthroplasty. *PAIN®*, 154(9):1878–1885, 2013. ISSN 03043959. doi: 10.1016/j.pain.2013.06.008.
- [56] M Cornelius, J Walker, M Pejsa, M Hand, C Campbell, J Haythornthwaite, P Khanuja, R Sterling, M Smith, and R Edwards. Pre-surgical Quantitative Sensory Testing predicts persistent postoperative pain in total knee replacement patients. *Journal of Pain*, 16(4 SUPPL. 1):S26, 2015. ISSN 1526-5900. doi: 10.1016/j.jpain.2015.01.116. URL Available from Elsevier in http://linker.worldcat.org/?rft.institution={_}id=129788{&}spage=S26{&}pkgName=ckjournalathens{&}issn=1526-5900{&}linkclass=to{&}article{&}jKey=15265900{&}issue=4+SUPPL.+1{&}provider=elsevier{&}date=2015-04{&}aulast=Cornelius+M.{&}atitle=Pre-surgical+Qu.
- [57] Vikki Wylde. CORR Insights?: Abnormal Quantitative Sensory Testing is Associated With Persistent Pain One Year After TKA. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 473(1):255–257, 2015. ISSN 15281132. doi: 10.1007/s11999-014-4023-x.
- [58] World Medical Association;. WMA Declaration of Helsinki - Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. *JAMA: The Journal of the American Medical Association*, (June 1964):1–8, 2013. ISSN 0019-5847. URL <http://www.wma.net/es/30publications/10policies/b3/>.
- [59] Sundhedsstyrelsen. Nationale Kliniske Retningslinjer. pages 1–2, 2016. URL <https://sundhedsstyrelsen.dk/da/sundhed/kvalitet-og-retningslinjer/{~}/media/382DCD3C38B54200823EB20DFF6DBD0D.ashx>.
- [60] Sundhedsstyrelsen. Kommissorium for udarbejdelse af nationale kliniske retningslinjer. (4):1–4, 2012. URL <https://sundhedsstyrelsen.dk/da/sundhed/kvalitet-og-retningslinjer/{~}/media/EA5CFD60216C4DAA9102C21DF6C121D1.ashx>.
- [61] Aisling Ní Annaidh, Karine Bruyère, Michel Destrade, Michael D. Gilchrist, and Mélanie Otténio. Characterization of the anisotropic mechanical properties of excised human skin. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 5(1):139–148, 2012. ISSN 17516161. doi: 10.1016/j.jmbbm.2011.08.016. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmbbm.2011.08.016>.
- [62] Jorma Jussila, Ari Leppäniemi, Mikael Paronen, and Erkki Kulomäki. Ballistic skin simulant. *Forensic Science International*, 150(1):63–71, 2005. ISSN 03790738. doi: 10.1016/j.forsciint.2004.06.039.
- [63] J E Sanders, B S Goldstein, and D F Leotta. Skin response to mechanical stress: adaptation rather than breakdown—a review of the literature. *Journal of rehabilitation research and development*, 32(3):214–226, 1995. ISSN 0748-7711.
- [64] M E Shy, E M Frohman, Y T So, J C Arezzo, D R Cornblath, M J Giuliani, J C Kincaid, J L Ochoa, G J Parry, and L H Weimer. Quantitative sensory testing: report of the Therapeutics and Technology Assessment Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology*, 60(6):898–904, 2003. ISSN 1526-632X. doi:

10.1212/01.WNL.0000058546.16985.11. URL
<http://www.neurology.org/content/60/6/898.full.pdf>.