

2013•2014
FACULTEIT GENEESKUNDE EN LEVENSWETENSCHAPPEN
*master in de revalidatiewetenschappen en de
kinesithérapie*

Masterproef

Functionele anatomie van het schoudercomplex en de rotator cuff musculatuur

Promotor :
Prof. dr. Frank VANDENABEELE

Celien Claes
*Proefschrift ingediend tot het behalen van de graad van master in de
revalidatiewetenschappen en de kinesithérapie*

2013•2014

FACULTEIT GENEESKUNDE EN LEVENSWETENSCHAPPEN

*master in de revalidatiewetenschappen en de
kinesitherapie*

Masterproef

Functionele anatomie van het schoudercomplex en de
rotator cuff musculatuur

Promotor :
Prof. dr. Frank VANDENABEELE

Celien Claes

*Proefschrift ingediend tot het behalen van de graad van master in de
revalidatiewetenschappen en de kinesitherapie*

Woord vooraf

Met dit eindwerk sluit ik mijn studie kinesithérapie en revalidatiewetenschappen af. Ik heb met veel energie en motivatie gewerkt aan het tweede deel van m'n masterproef.

Graag wil ik de prosectoren van de snijzaal M. Mathijssen en M. Janssens bedanken voor het gebruiken van het dissectiemateriaal en voor de begeleiding in het ontledingsproces. Ik respecteer ten zeerste hun bereidheid, assistentie en het leuke gezelschap. Zoals weinige kinesitherapeuten heb ik de kans gekregen om in de snijzaal ervaring op te doen en een bredere diepgang te creëren in de normale anatomie van het schoudercomplex. Via dit onderzoek bekeek ik de morfologie op een andere manier en verbreedde ik m'n kennis. Daarbij ben ik de mensen die hun lichaam aan de wetenschap geschonken hebben erg dankbaar.

Eveneens wil ik mijn promotor Prof. Vandenabeele bedanken voor het bijsturen van m'n eindwerk d.m.v. advies en goede tips. Ik apprecieer de vrijheid die me werd gelaten bij de concrete aanpak en planning van het onderzoek.

Als laatste woord, bedank ik mijn ouders voor de steun en het vertrouwen tijdens het schrijven van mijn masterproef.

Celien Claes,

Diest, 25 juni 2014

Situering

Het tweede deel van dit alleenstaand masterproefonderzoek is een beschrijvende kadaverstudie waarbij er geen sprake is van een lopend onderzoeksproject. De masterproef werd opgesteld volgens de richtlijnen van 'Journals of Anatomy & Physiology'. Als persoonlijk aandeel vonden er gedurende twee maanden observaties van anatomische schouderpreparaten en dissecties van het schoudercomplex plaats in de snijzaal van de Universiteit Hasselt te Diepenbeek met als doel een volledig beeld te verkrijgen van de normale kinesiologie van het schoudercomplex. De ontleding gebeurde onder begeleiding van een prosector waarbij de normale anatomie en kinesiologie van het schoudercomplex bestaande uit de art. glenohumeralis, de art. sternoclavicularis, de art. acromioclavicularis en de 'art.' scapulothoracalis bestudeerd werden met bijkomend onderzoek naar eventuele morfologische variaties. Bijzondere aandacht ging uit naar de spieren van de rotator cuff die tijdens de dissectieperiode werden gefotografeerd en waarvan de illustraties gebruikt werden in het masterproefonderzoek ter verduidelijking. Ook de kinesiologie en de musculaire betrokkenheid van het scapulohumeraal ritme tijdens schouderabductie werden diepgaand bestudeerd en beschreven. Een grondige anatomische kennis van het schoudercomplex en de omringende spieren wordt beschouwd als een basisveronderstelling voor succesvolle behandelingen in de musculoskeletale revalidatie voor toekomstige kinesitherapeuten.

Masterproef deel 2:

Functionele anatomie van het schoudercomplex en de rotator cuff musculatuur

“Opgesteld volgens de richtlijnen van ‘Journal of Anatomy & Physiology’:
<http://omicsonline.org/instructionsforauthors-anatomy-physiology-open-access.php>”

Abstract

Achtergrond: Als toekomstige kinesitherapeut is een diepgaande kennis over de normale anatomie en de biomechanica van het menselijk lichaam uiterst belangrijk om patiënten optimaal te kunnen onderzoeken en te behandelen. In masterproef deel 2 werd de anatomie en de kinesiologie van het schoudercomplex uitgebreid onderzocht en beschreven.

Materiaal en methode: Er werden vijf schouders van vijf gebalsemde kadavers gebruikt voor morfologisch onderzoek. Het schoudercomplex en de spieren van de rotator cuff werden uitgebreid bestudeerd en gefotografeerd. De kinesiologie van het schoudercomplex werd verduidelijkt d.m.v. illustraties van een anatomisch skelet.

Materiaal: twee anatomische pincetten, een scalpel (bistouri + vervangbare mesjes nr. 24), een curette en een fototoestel. Het beeldmateriaal werd genomen in de snijzaal van Uhasselt te Diepenbeek.

Resultaten: De art. glenohumeralis, de art. sternoclavicularis, de art. acromioclavicularis en het schijngewricht art. scapulothoracalis vormen samen de vier gewrichten van het schoudercomplex en beschikken over een goede anatomische structuur. Via optimaal gecoördineerde contracties van de spieren rondom het schoudercomplex kunnen gesynchroniseerde bewegingen plaatsvinden.

Conclusie: Het schoudercomplex voorziet het bovenste lidmaat tijdens dagelijkse activiteiten van zowel statische als dynamische stabiliteit waardoor optimale, functionele en gecoördineerde bewegingen kunnen plaatsvinden. De balans tussen stabiliteit en mobiliteit van het bovenste lidmaat is hierbij uiterst belangrijk. Omdat de structuren van het schoudercomplex onderling met elkaar zijn verbonden, is het van groot belang om als kinesitherapeut de schouder als een geheel te bekijken, te onderzoeken en te behandelen.

Inleiding

Het schoudercomplex bestaande uit vier verschillende gewrichten (de art. glenohumeralis, de art. sternoclavicularis, de art. acromioclavicularis en het schijngewricht 'art.' scapulothoracalis) functioneert op een synchroniserende en gecoördineerde manier. Positieveranderingen t.h.v. het bovenste lidmaat resulteert in bewegingen van zowel het os humeri als het os scapulae en het os clavicula^{1,7}. Een trauma of aandoening aan één van de vier gewrichten limiteert de bewegingen van het volledige schoudercomplex en kan voor significante problemen zorgen in de effectiviteit van het volledige bovenste lidmaat^{7,14}. Omdat de spieren van het schoudercomplex functioneren als een team, zijn gecoördineerde bewegingen noodzakelijk voor een optimale functionaliteit van de schouder^{1-3,9}.

Materiaal en methode

Er werden vijf schouders van vijf gebalsemde kadavers gebruikt voor morfologisch onderzoek. De kadavers werden gebalsemd in een balsemvloeistof samengesteld uit vijf verschillende ingrediënten (**Fig. 1**) De leeftijd en het geslacht van de kadavers waren onbekend. Het os scapulae, het os humeri en het mediaal 1/3^{de} van het os clavicula werden bij alle kadavers intact gehouden tijdens dissectie. Onder begeleiding van een prosector en met behulp van een dissectiehandleiding werd er laag per laag met twee anatomische pincetten en een scalpel (= bistouri + vervangbare mesjes nr. 24) gedissecteerd. In de eerste fase werd de cutis (dermis en epidermis) gescheiden van het onderhuids vetweefsel (subcutis). Nadien werd de subcutis met behulp van twee anatomische pincetten voorzichtig verwijderd en de neurogene structuren blootgelegd. Na verwijdering van de fascia rondom de spieren werd er tenslotte met behulp van een curette (botschraper) tot op het bot ontleed waarbij de oorsprong en de insertie van de spieren van de rotator cuff en het caput longum van de m. biceps brachii intact werden gehouden. Bij één schouder werd 1/2^{de} van het caput humeri doorgesneden zodat het verloop en de insertie van het caput longum van de m. biceps brachii duidelijk zichtbaar werden. Na de dissectie werd het preparaat of het bewerkte gebied bevochtigd en bewaard in een bewaarmvloeistof (**Fig. 2**). Het beeldmateriaal werd met behulp van een digitaal fototoestel gemaakt.

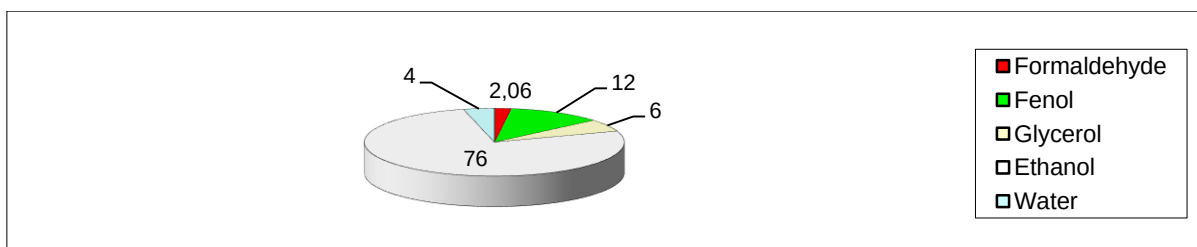


Fig. 1: Samenstelling balsemvloeistof Universiteit Diepenbeek: 17 liter per lichaam (%)

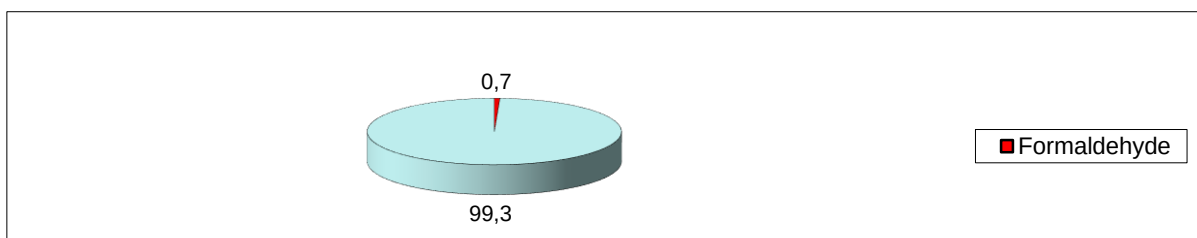


Fig. 2: Samenstelling bewaarmvloeistof Universiteit Diepenbeek (%)

Resultaten

Functionele anatomie van het schoudercomplex

Structuur, osteo- en arthrokinematica van het schoudercomplex

Het schoudercomplex (**Fig. 3**) bestaande uit vier gewrichten – de art. glenohumeralis, de art. sternoclavicularis, de art. acromioclavicularis en het schijngewricht 'art.' scapulothoracalis – beschikt over een goede anatomische structuur. Omwille van deze anatomische structuur is er een grote beweeglijkheid van het bovenste lidmaat mogelijk. Als één gewricht afwijkt van de normale structuur zal dit gevolgen hebben in de drie andere gewrichten van het schoudercomplex waardoor de functionaliteit van de schouder sterk zal afnemen^{1-3,7,9}.

Het schoudercomplex is een functionele link tussen het bovenste lidmaat en de romp; hoofdzakelijk afhankelijk van ligamenten en spieren zoals de rotator cuff^{1,3,9}. Het schoudercomplex beschikt over de grootste beweeglijkheid van het volledig lichaam en voorziet het bovenste lidmaat van zowel mobiliteit als stabiliteit. Hoewel het schoudercomplex eerder geschikt is voor mobiliteit, is stabiliteit t.h.v. het schoudercomplex uiterst belangrijk tijdens vaardigheden en krachtige bewegingen van de schouder, de elleboog en de hand^{1,3,9}.

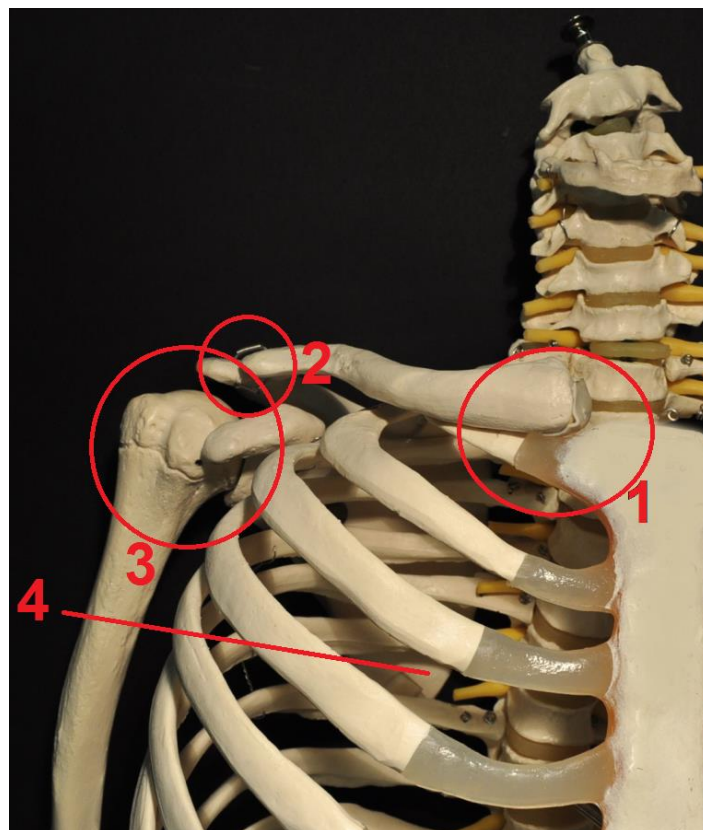


Fig. 3: De vier gewrichten van het rechter schoudercomplex:

1: art. sternoclavicularis (SC); 2: art. acromioclavicularis (AC); 3: art. glenohumeralis (GH); 4: 'art.' scapulothoracalis (ST).

Art. glenohumeralis

De art. glenohumeralis of de art. humeri is een synoviaal kogelgewricht en beschikt over een concave en een convexe component. De cavitas glenoidalis van het os scapulae functioneert als de concave component en het opmerkelijk grote caput humeri functioneert als de convexe component. Rond de cavitas glenoidalis ligt een kraakbeenring: het labrum glenoidale. Hierdoor ligt het caput humeri dieper in de cavitas glenoidalis en zal de stabiliteit in de art. glenohumeralis toenemen¹⁻³. De rustpositie of de 'loose packed position' (LPP) van de art. glenohumeralis bedraagt 70° flexie en 30° horizontale adductie; terwijl de vergrendelde positie of de 'closed packed position' (CPP) van de art. glenohumeralis 90° abductie en volledige exorotatie bedraagt. Het capsulair patroon van de art. glenohumeralis is respectievelijk exorotatie; abductie en endorotatie^{1,9}.

De drie vrijheidsgraden ter hoogte van de art. glenohumeralis (Fig. 4):

- Anteflexie en retroflexie

Bij een anteflexie of flexie (0-90°) glijdt het caput humeri posterolateraal in de cavitas glenoidalis waarbij het posterieur gedeelte van de capsula articularis en voornamelijk het lig. glenohumerale inferior verdere flexie limiteren. Deze structuren zullen in de 'end range' maximaal onder spanning gebracht worden. De flexie komt tot stand dankzij een contractie van de m. deltoideus pars clavicularis, de m. coracobrachialis, het caput longum van de m. biceps brachii en het pars clavicularis van de m. pectoralis major. Bij een retroflexie of extensie (0-60°) glijdt het caput humeri anteromediaal in de cavitas glenoidalis waarbij de ligg. glenohumerale superior en mediale verdere extensie limiteren. De extensie komt tot stand dankzij een contractie van de m. latissimus dorsi, de m. teres major, het caput longum van de m. triceps brachii en het pars spinalis van de m. deltoideus^{1,9}.

- Abductie en adductie

Bij een abductie (0-90°; tot 180° m.b.v. elevatie) glijdt het caput humeri inferieur in de cavitas glenoidalis waarbij voornamelijk het lig. glenohumerale inferior, maar ook het inferieur gedeelte van de capsula articularis ('axillary pouch'), het lig. costoclavicularis, de ligg. interclavicularis en de mm. subclavia t.h.v. de art. sternoclavicularis verdere abductie limiteren. De abductie komt tot stand dankzij een contractie van de m. deltoideus, de m. supraspinatus en het caput longum van de m. biceps brachii. Bij een adductie (0-75°) glijdt het caput humeri superieur in de cavitas glenoidalis waarbij enkel de romp verdere adductie limiteert. De adductie komt tot stand dankzij een contractie van de m. pectoralis major, de m. latissimus dorsi, de m. teres major, het caput longum van de m. triceps brachii en het pars spinalis van de m. deltoideus^{1,9}.

- Endorotatie en exorotatie

Bij een endorotatie (0-90°) glijdt het caput humeri posterolateraal in de cavitas glenoidalis waarbij het posterieur gedeelte van de capsula articularis verdere endorotatie limiteert. De endorotatie komt tot stand dankzij een contractie van de m. subscapularis, de m. teres major, de m. pectoralis major, de m. latissimus dorsi en het pars clavicularis van de m. deltoideus. Bij een exorotatie (0-90°) glijdt het caput humeri anteromediaal in de cavitas glenoidalis waarbij het lig. coracohumerale en de ligg. glenohumerale verdere exorotatie limiteren. De exorotatie komt tot stand dankzij een contractie van de m. infraspinatus, de m. teres minor en het pars spinalis van de m. deltoideus^{1,9}.

- Horizontale abductie en horizontale adductie

Horizontale abductie en horizontale adductie vinden plaats tijdens 90° abductie in de art. glenohumeralis en worden vaak beschreven als de secundaire bewegingen in de art. glenohumeralis. Deze bewegingen spelen zich af in het transversaal vlak rond een longitudinale rotatie-as. Bij een horizontale abductie glijdt het caput humeri anteromediaal in de cavitas glenoidalis, terwijl bij een horizontale adductie het caput humeri posterolateraal in de cavitas glenoidalis glijdt^{1,9}. Een horizontale abductie komt tot stand dankzij een contractie van het pars spinalis van de m. deltoideus en bij een horizontale adductie wordt de m. pectoralis major gecontraheerd, geassisteerd door het pars claviculis van de m. deltoideus¹.

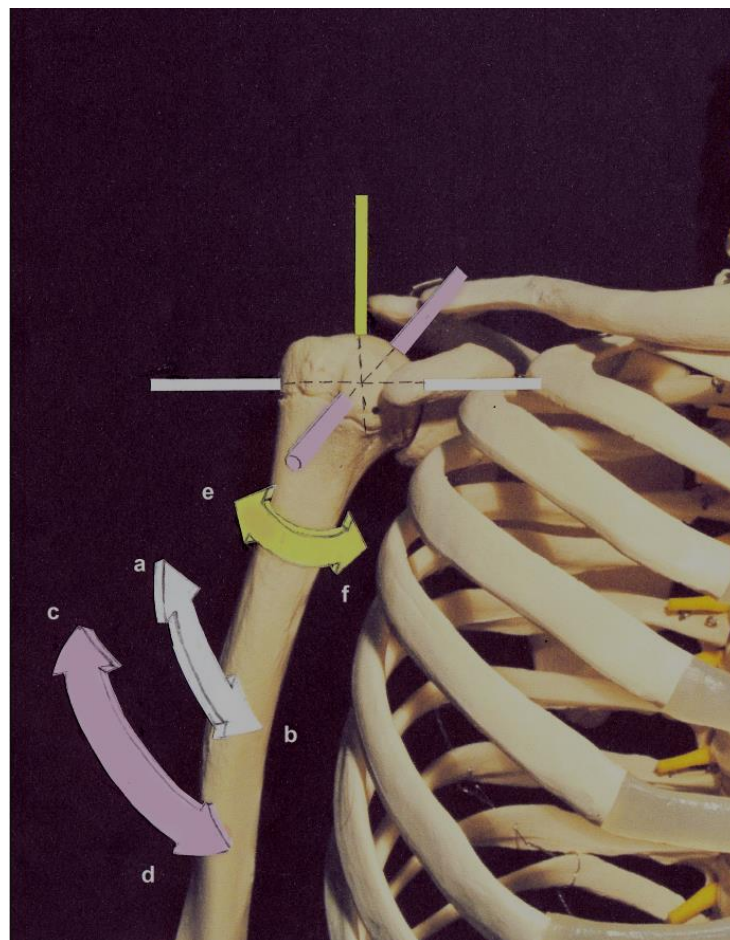


Fig. 4: Osteokinematica van de art. glenohumeralis rechts (vooraanzicht). Anteflexie (a) en retroflexie (b) in het sagittaal vlak rond een med-lat. rotatie-as zijn weergegeven in het wit; abductie (c) en adductie (d) in het frontaal vlak rond een ant.-post. rotatie-as zijn weergegeven in het paars; exorotatie (e) en endorotatie (f) in het transversaal vlak rond een verticale rotatie-as zijn weergegeven in het geel. De bijhorende rotatie-assen zijn weergegeven in de overeenstemmende kleur.

Art. sternoclavicularis

De art. sternoclavicularis is een synoviaal zadelgewricht waarbij de gewrichtsoppervlakken van het manubrium sterni en de facies articularis sternalis van het os clavícula zadelvormig zijn. Ze hebben zowel een concaaf als een convex gewrichtsoppervlak met tussenin een prominente discus articularis. De discus articularis functioneert als shockdemper en verhoogt de congruentie tussen de gewrichtsvlakken³. De facies articularis sternalis van het os clavícula is in een craniocaudale richting convex en in een anteroposterieure richting concaaf. Hierdoor gedraagt het os clavícula bij elevatie en depressie zich als de convexe partner t.o.v. de concave manubrium sterni, terwijl tijdens retractie en protractie het os clavícula zich gedraagt als de concave partner t.o.v. de convexe manubrium sterni^{1-3,6,7}. De LPP van de art. sternoclavicularis vindt plaats in een normaal ontspannen houding terwijl de CPP van de art. sternoclavicularis maximale elevatie bedraagt¹. De bewegingen in de art. sternoclavicularis zijn weergegeven in **fig. 5**.

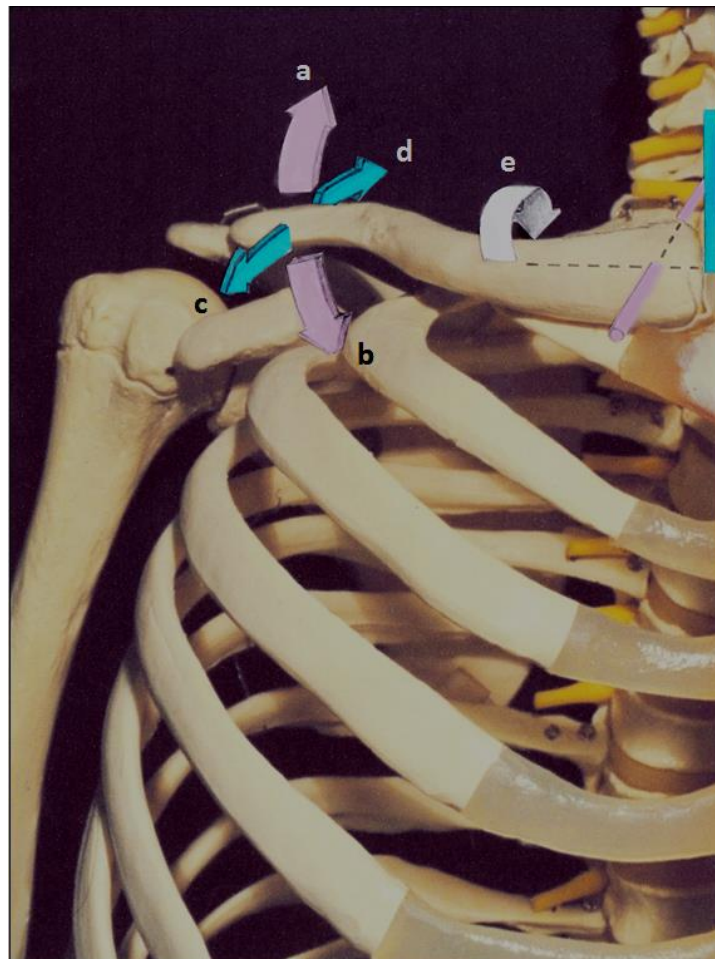


Fig. 5: Osteokinematica van de art. sternoclavicularis rechts (vooraanzicht). Elevatie (a) en depressie (b) in het frontaal vlak rond een ant.-post. rotatie-as zijn weergegeven in het paars; protractie (c) en retractie (d) in het horizontaal vlak rond een verticale rotatie-as zijn weergegeven in het blauw; posterieure rotatie (e) van het os scapulae in het sagittale vlak rond een longitudinale rotatie-as (stippellijn) is weergegeven in het wit. De bijhorende rotatie-assen zijn weergegeven in de overeenstemmende kleur.

Art. acromioclavicularis

De art. acromioclavicularis is bijna een volledig vlak synoviaal gewricht en beschikt over drie vrijheidsgraden waarvan de verschillende bewegingen zijn weergegeven in **fig. 6**. De facies articularis acromialis van het os clavícula heeft een convex gewrichtsoppervlak en beweegt t.o.v. het os acromion die functioneert als de concave partner. De gewrichtsoppervlakken variëren van vlak tot licht concaaf of convex. Tussen beide gewrichtsoppervlakken ligt een discus articularis maar deze is rudimentair in vergelijking met de discus articularis in de art. sternoclavicularis^{1,9}. De LPP van de art. acromioclavicularis is een normaal ontspannen houding terwijl de CPP van de art. acromioclavicularis 90° abductie (zonder enige rotatie) bedraagt¹.

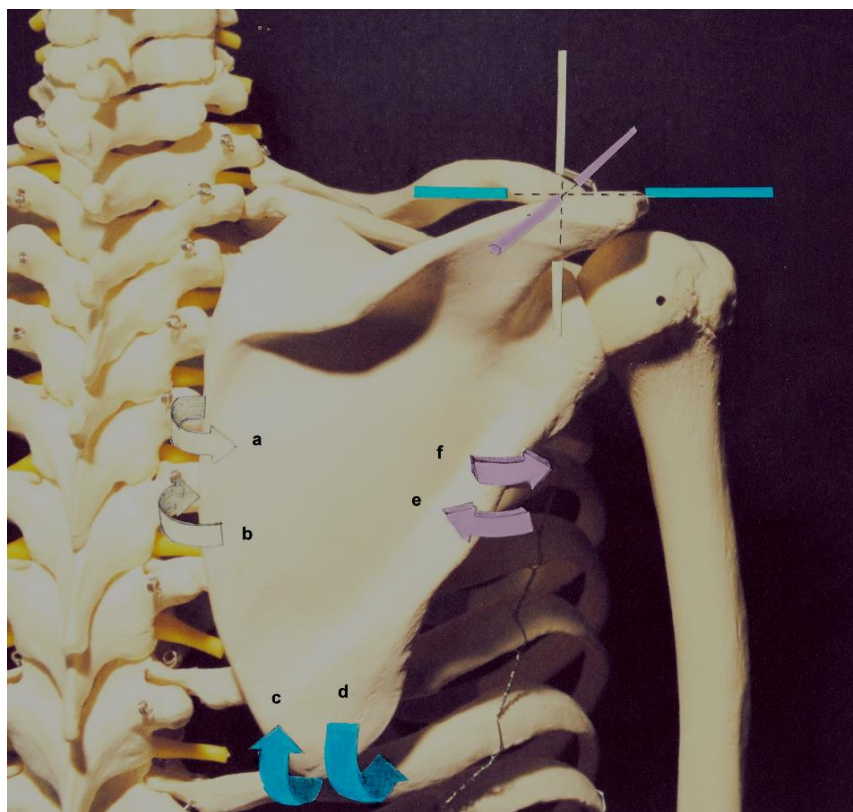


Fig. 6: Osteokinematica van de art. acromioclavicularis rechts (achteraanzicht) **a:** endorotatie (sec. bew. in het sagittaal vlak rond een verticale rotatie-as); **b:** exorotatie (sec. bew. in het sagittaal vlak rond een verticale rotatie-as); **c:** anterieure tilt (sec. bew. in het horizontaal vlak rond een horizontale rotatie-as); **d:** posterieure tilt (sec. bew. in het horizontaal vlak rond een horizontale rotatie-as); **e:** medio-rotatie (prim. bew. in het frontaal vlak rond een ant.-post. rotatie-as); **f:** latero-rotatie (prim. bew. in het frontaal vlak rond een ant.-post. rotatie-as). De bijhorende rotatie-assen zijn weergegeven in de overeenstemmende kleur.

‘Art.’ scapulothoracalis

De ‘art. scapulothoracalis’ is in tegenstelling tot de drie andere gewrichten van het schoudercomplex geen ‘echt’ anatomisch gewricht en wordt beschreven als een functioneel schijngewricht wegens de afwezigheid van de capsula articularis en het ontbreken van ligamentaire steun. Het posterieur oppervlak van het os scapulae gedraagt zich concaaf t.o.v. het convexe ribbenrooster^{1-3,6,7,9}. De normale kinesiologie van de ‘art.’ scapulothoracalis is afhankelijk van de stand en de mobiliteit van de wervelkolom. Zo zal bijvoorbeeld een vergrote thoracale kyfose leiden tot veranderingen in de scapulothoracale beweeglijkheid^{1,9}.

De bewegingen van de art. scapulothoracalis zijn het resultaat van coöpererende bewegingen tussen de art. sternoclavicularis en de art. acromioclavicularis (**fig. 7**):

- Elevatie en depressie

Een elevatie van het os scapulae (30-40°) komt tot stand dankzij een contractie van de m. trapezius descendens, de m. levator scapulae, de m. rhomboideus minor en de m. rhomboideus major, terwijl een depressie van het os scapulae (5-10°) gebeurt door een contractie van de m. pectoralis minor, de m. trapezius ascendens, de m. latissimus dorsi, en de m. subclavius^{1,7}.

- Protractie en retractie

Een protractie van het os scapulae (15°) komt tot stand dankzij een contractie van de m. serratus anterior, de m. pectoralis major en de pectoralis minor, terwijl een retractie van het os scapulae (15°) gebeurt door een contractie van de mm. trapezius ascendens, transversus en descendens en de mm. rhomboideus major en minor^{1,9}.

Als de m. serratus anterior of de mm. trapezius en de mm. rhomboidea verzwakt zijn, ontstaat er een zichtbare ‘winging’ van het os scapulae. De margo medialis van het os scapulae ligt dan verder verwijderd van de thorax⁷.

- Medio-rotatie en latero-rotatie

Een latero-rotatie van het os scapulae komt tot stand dankzij een contractie van de mm. trapezius ascendens, transversus en descendens en de m. serratus anterior; terwijl een medio-rotatie van het os scapulae gebeurt door een contractie van de m. levator scapulae en de mm. rhomboideus major en minor. Deze rotatiebewegingen hebben samen een ‘range’ van 60°^{1,9}.

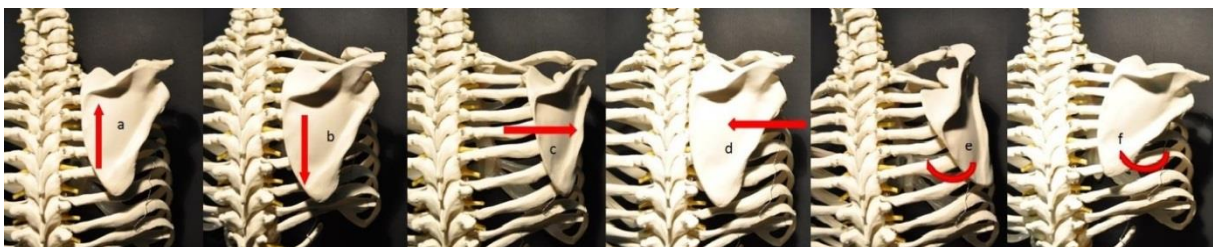


Fig. 7: Scapulothoracale bewegingen van de rechter scapulae ten opzichte van het posterolaterale oppervlakte van de thorax. **a:** Elevatie; **b:** Depressie; **c:** Protractie; **d:** Retractie; **e:** Latero-rotatie en **f:** Medio-rotatie.

Het anatomisch substraat van de statische en dynamische schouderstabiliteit

Voor optimale functionele bewegingen van het schoudercomplex is er een goede stabiliteit vereist t.h.v. de vier gewrichten van het schoudercomplex. Hierbij spelen zowel statische als dynamische stabiliteit een significante rol³.

De 5° superieure inclinatie van de cavitas glenoidalis t.o.v. de margo medialis van het os scapulae draagt bij tot een betere ondersteuning van het caput humeri in de fossa glenoidale en waarbij de inwerkende zwaartekracht de compressie in het gewricht verhoogd^{3,7}. Dit mechanisme wordt het statisch 'locking mechanisme' van de art. glenohumeralis genoemd en zorgt bijgevolg voor statische stabiliteit t.h.v. de art. glenohumeralis³. Rond de cavitas glenoidalis ligt een labrum glenoidale waardoor de caviteit van de cavitas glenoidalis wordt vergroot en de statische stabiliteit in de art. glenohumeralis zal toenemen^{3,7} (**Fig. 8**). Ook de ligamentaire spanning rondom de art. glenohumeralis draagt bij tot statische stabiliteit in de art. glenohumeralis. Zo zal het lig. glenohumerales superior tijdens volledige adductie en het lig. glenohumeralis medius tijdens exorotatie op spanning gebracht worden. Tijdens abductie, exorotatie en endorotatie zal het lig. glenohumerales inferior ('axillary pouch', anterieure band en posterieure band respectievelijk) op spanning komen, terwijl het lig. coracohumerales tijdens extreme retroflexie of exorotatie z'n maximale rekapaciteit bereikt^{1,9}. Hoewel vaak de spanning van de capsula articularis als verwaarloosbaar wordt gezien m.b.t. de statische stabiliteit in de art. glenohumeralis, zal de superieure capsulaire structuren samen met het lig. coracohumerales tijdens rust voor primaire stabiliteit zorgen doordat het caput humeri in de fossa glenoidale wordt gecompriëerd³. De negatieve intra-articulaire atmosferische druk binnen de art. glenohumeralis zorgt voor secundaire statische stabiliteit³. Dynamische stabiliteit in de art. glenohumeralis refereert naar stabiliteit in het gewricht tijdens bewegingen en wordt bepaald door de spieren van de rotator cuff en het caput longum van de m. biceps brachii^{3,9}.

Intermezzo:

Het 'biceps pulley systeem' is een capsuloligamentair complex bestaande uit het lig. glenohumerales superior, het lig. coracohumerales en de distale insertie van de pees van de m. subscapularis. Het 'pulley complex' stabiliseert het caput longum van de m. biceps brachii in de sulcus intertubercularis en is gelokaliseerd binnen het rotator interval tussen de anterieure rand van de pees van de m. supraspinatus en de superieure rand van de pees van de m. subscapularis²⁶.

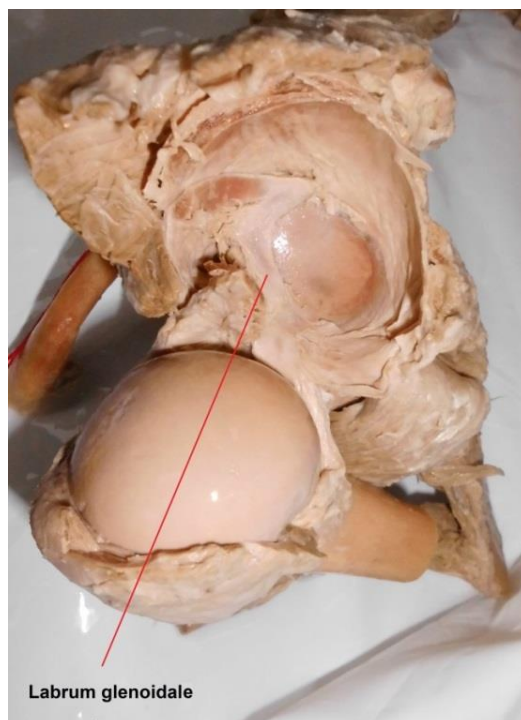


Fig. 8: Craniolateraal zicht van de rechter art. glenohumeralis met weergave van het prominente caput humeri in verhouding met de kleine cavitas glenoidalis. Het labrum glenoidale (aangeduid in fig.) zorgt voor een toename in de statische stabiliteit.

Structuren die de art. sternoclavicularis voorzien van statische stabiliteit zijn de zadelvormige gewrichtsvlakken en de discus interarticularis. De discus interarticularis verhoogt de congruentie van de irreguliere gewrichtsvlakken zodat deze beter in elkaar passen³. Ook de capsula articularis van de art. sternoclavicularis en de ligamentaire spanning van de ligg. sternoclaviculaire anterior en posterior, het lig. interclavicularis en het lig. costoclaviculaire rondom de art. sternoclavicularis dragen bij aan de statische stabiliteit in het gewricht. De sternale kop van de m. sternocleidomastoideus; het posterieur gedeelte van de m. sternothyroid; de m. sternohyoid en de m. subclavius zorgen daarentegen voor de dynamische stabiliteit in de art. sternoclavicularis³.

Structuren die de art. acromioclavicularis stabiliseren zijn de discus interarticularis die – zoals in de art. sternoclavicularis – de congruentie van de irreguliere gewrichtsvlakken verhoogt en bijdraagt tot statische stabiliteit in de art. acromioclavicularis^{3,7}. Ook de capsula articularis en de ligamentaire spanning van de ligg. acromioclavicularis superior en inferior, het lig. coracoclavicularis (het mediale conoid en het laterale trapezoid) dragen bij tot de statische stabiliteit van de art. acromioclavicularis, terwijl de m. deltoideus en de m. trapezius descendens zorgen voor de dynamische stabiliteit in de art. acromioclavicularis³.

Statische stabiliteit t.h.v. de art. scapulothoracalis komt tot stand door de fascia profundus van de cervicale en thoracale wervelzuil. Dynamische stabiliteit daarentegen wordt teweeggebracht door de scapulaire spieren rondom het os scapulae zoals de mm. trapezius, de m. levator scapulae, de m. serratus anterior, de mm. rhomboideus en de m. latissimus dorsi³.

Het scapulohumeraal ritme

Elke beweging van het schoudercomplex gebeurt via een gecontroleerde interactie tussen de vier gewrichten van het schoudercomplex¹. Verschillende spieren werken als krachtenkoppels en hun samenwerking verzekert stabiliteit en optimale bewegingen over de verschillende gewrichten³. Het scapulohumeraal ritme tijdens schouderabductie wordt toegelicht in **fig. 9**. Het scapulohumeraal ritme wordt omschreven als een ratio van 2:1 tussen de bewegingen van de art. glenohumeralis en de art. scapulothoracalis. Voor elke 2° abductie in de art. glenohumeralis roteert het os scapulae 1° opwaarts^{3,7}. Zonder de latero-rotatie van het os scapulae is het onmogelijk om de volledige 'range of motion' te bereiken en kan er subacromiale impingement optreden⁷.

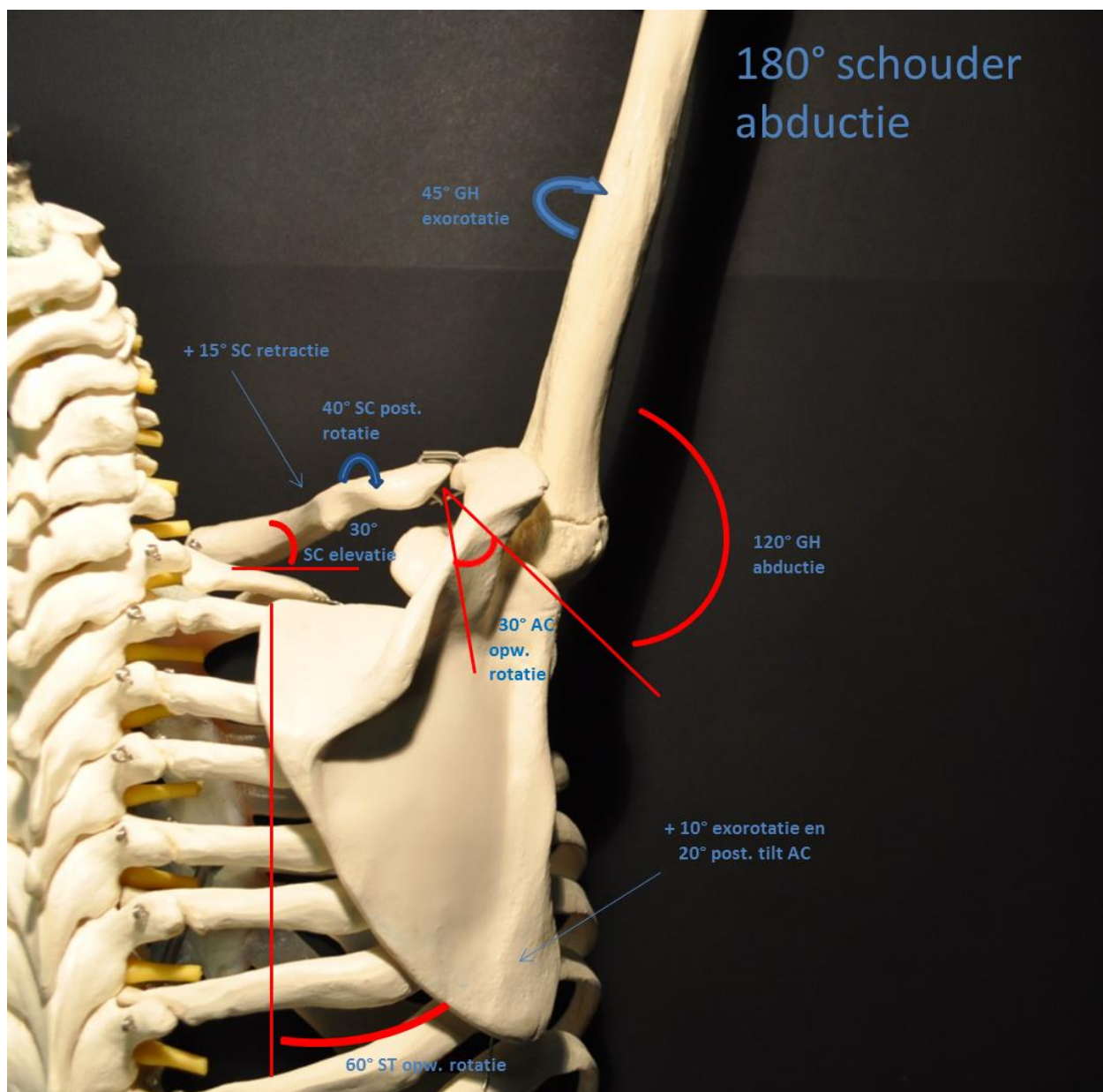


Fig. 9: Achteraanzicht van het rechter schoudercomplex tijdens 180° schouderabductie met weergave van de zes principes ter hoogte van het schoudercomplex.

De totale 180° schouderabductie wordt opgedeeld in een vroege en late fase: tijdens de eerste 90° schouderabductie (vroege fase) gebeurt er simultaan 60° abductie in de art. glenohumeralis en 30° latero-rotatie van het os scapulae in de art. scapulothoracalis. Deze 30° latero-rotatie kan zich enkel voordoen als er een elevatie (20-25°) van het os clavícula t.h.v. de art. sternoclavicularis en een latero-rotatie (5-10°) van het os scapulae t.h.v. de art. acromioclavicularis plaatsvindt³. Van 90° naar 180° schouderabductie (late fase) wordt er simultaan 60° abductie in de art. glenohumeralis en een 30° latero-rotatie van het os scapulae t.h.v. de art. scapulothoracalis toegevoegd. Een aanvullende 5° elevatie van het os clavícula in de art. sternoclavicularis en een 20-25° latero-rotatie van het os scapulae t.h.v. de art. acromioclavicularis is belangrijk om de volledige schouderabductie te bereiken. Enkel in de late fase van de schouderabductie roteert het os clavícula 40° posterieur t.h.v. de art. sternoclavicularis. Door deze posterieure rotatie van het os clavícula komt het lig. coracoclavicularis dicht bij z'n oorsprong op het processus coracoideus te liggen waardoor het ligament lichtjes ontspant en de allerlaatste 30° latero-rotatie van het os scapulae mogelijk wordt. Op het einde van de 180° schouderabductie zal de 60° latero-rotatie van het os scapulae in de art. scapulothoracalis het resultaat zijn van 30° elevatie van het os clavícula in de art. sternoclavicularis samen met 30° latero-rotatie van het os scapulae in de art. acromioclavicularis³.

Door de 60° latero-rotatie van het os scapulae t.h.v. de art. scapulothoracalis in combinatie met de zwaartekracht wordt het caput humeri ondersteund in de cavitas glenoidalis. De cavitas glenoidalis wijst naar anterior, lateraal en superior en er ontstaat een optimale kracht-lengte relatie van verschillende scapulohumerale spieren. Deze 60° latero-rotatie van het os scapulae tijdens schouderabductie vrijwaart de subacromiale ruimte ($\pm 1\text{cm}$)³.

Ook de secundaire scapulothoracale bewegingen zoals de 10° exorotatie en de 20° posterieure tilt van het os scapulae t.h.v. de art. acromioclavicularis tijdens schouderabductie zorgen ervoor dat er subacromiaal – onder de coracoacromiale boog – meer ruimte wordt gecreëerd. Het caput humeri beweegt zich weg van de coracoacromiale boog en de exorotatie t.h.v. de art. glenohumeralis laat een bredere doorgang toe voor het tuberculum majus die posterieur onder het os acromion passeert¹.

Krachtenkoppels van het schoudercomplex tijdens schouderabductie

De spieren van het schoudercomplex werken samen als een team en genereren gecoördineerde bewegingen ter hoogte van de vier gewrichten van het schoudercomplex^{1,3,7}.

De m. deltoideus en de m. supraspinatus zijn de abductoren van de art. glenohumeralis en functioneren tijdens 0-120° abductie als een belangrijk krachtenkoppel. Door de contractie van de m. supraspinatus rolt het caput humeri naar craniaal en ontstaat er een compressie van het caput humeri in de fossa glenoidalis. De m. supraspinatus voorkomt het excessieve superieure glijden van het caput humeri in de fossa glenoidalis dat wordt gegenereerd door de m. deltoideus³(**Fig. 10**).

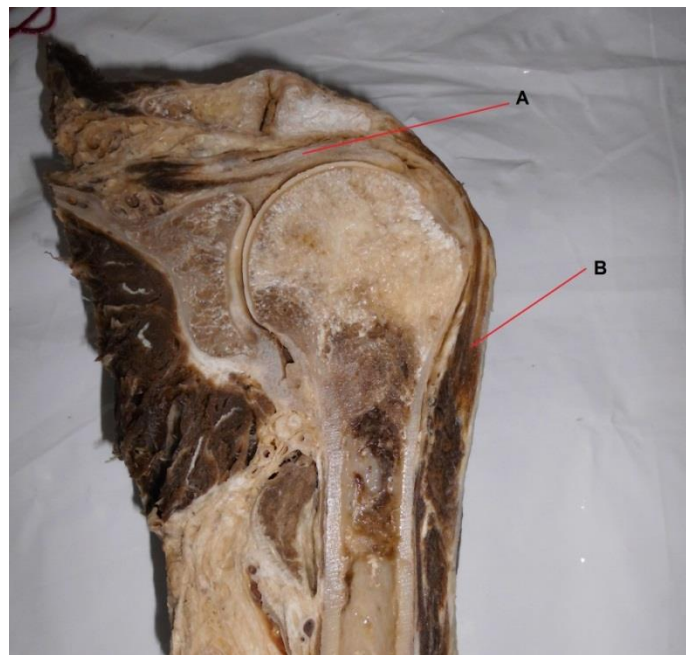


Fig. 10: Sagittale doorsnede van de art. glenohumeralis met weergave van het krachtenkoppel tussen de m. supraspinatus (**A**) en de m. deltoideus (**B**).

De scapulaire spieren zoals de m. trapezius descendens, de m. trapezius ascendens en de m. serratus anterior functioneren eveneens als een krachtenkoppel en controleren simultaan de scapulaire bewegingen tijdens de schouderabductie. Deze drie spieren verzorgen de 60° latero-rotatie van de scapulae t.h.v. de art. scapulothoracalis met elk een verschillende interne momentarm en creëren een stabiele basis voor de spieren van de rotator cuff en de m. deltoideus. De m. serratus anterior creëert het grootste intern moment gevolgd door de m. trapezius ascendens en de m. trapezius descendens. De m. serratus anterior verzorgt daarenboven de posterieure tilt en de exorotatie van het os scapulae tijdens elevatie van het os humeri t.h.v. de art. acromioclavicularis³.

De m. trapezius transversus en de m. rhombioides versus de m. serratus anterior gedragen zich als een anterieur krachtenkoppel en bepalen de 15° netto protractie-retractie van het os scapulae t.o.v. het ribbenrooster³.

De spieren van de rotator cuff samen met de capsulaire ligamenten van de art. glenohumeralis vermengen zich met de capsula fibrosa en voorziet het gewricht van stabiliteit. De vier spieren van de rotator cuff functioneren als dynamische stabilisatoren t.h.v. de art. glenohumeralis tijdens elevatie van het os humeri. Ze centraliseren het caput humeri in de cavitas glenoidalis en controleren de arthokinematica in de art. glenohumeralis. Terwijl de m. supraspinatus functioneert als een elevator van het os humeri zorgen de m. infraspinatus, de m. subscapularis en de m. teres minor voor een neerwaarts gerichte translatie-kracht en neutraliseren ze de craniaal gerichte m. deltoideus kracht³ (**Fig. 11**). De m. infraspinatus en de m. teres minor maakt de 45° exorotatie in de art. glenohumeralis mogelijk zodat het tuberculum majus zich naar posterieur verplaatst. Omwille van de exorotatie en de neerwaarts gerichte kracht van de m. infraspinatus en de m. teres minor wordt de subacromiale ruimte vrijwaart³.

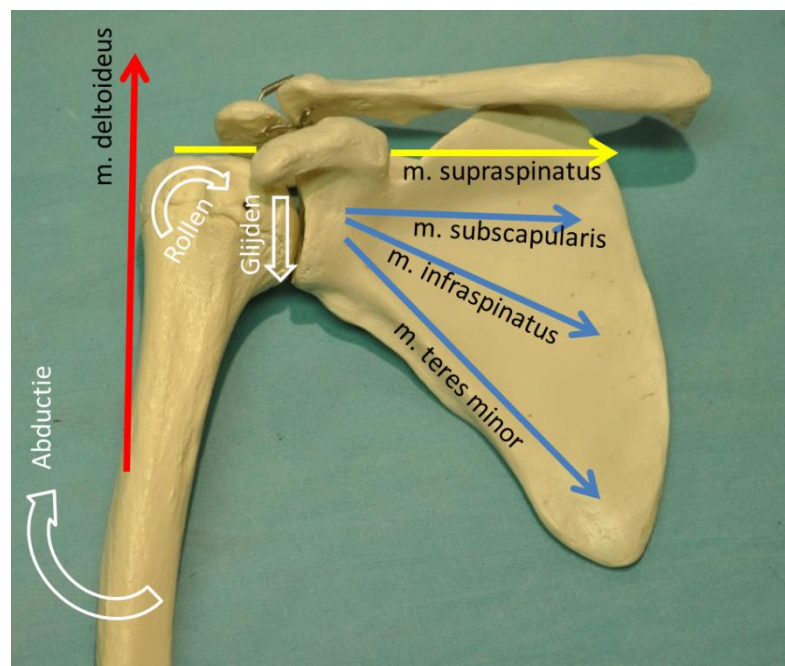


Fig. 11: Vooraanzicht van de rechter schoudergordel met weergave van het krachtenkoppel tussen de spieren van de rotator cuff en de m. deltoideus tijdens schouderabductie. De m. deltoideus (rode pijl) heeft een superieure gerichte krachtvector waarbij het caput humeri in de cavitas glenoidalis naar craniaal rolt. De m. supraspinatus (gele pijl) rolt het caput humeri in een abductiestand en zorgt voor een compressie in de cavitas glenoidalis. De m. subscapularis, de m. infraspinatus en de m. teres minor (blauwe pijlen) zorgen voor een caudaal gerichte kracht zodat excessieve superieure translatie van het caput humeri wordt tegengegaan. De witte pijlen geven de arthrokinematica in het gewricht weer.

De rotator cuff

De rotator cuff (RC) is samengesteld uit vier spieren: de m. subscapularis, de m. supraspinatus, de m. infraspinatus en de m. teres minor (**Fig. 12**). Enkel de m. subscapularis heeft zijn oorsprong anterieur op het os scapulae, terwijl de drie andere spieren posterieur op het os scapulae ontspringen. De spieren van de RC bedekken en fixeren de capsula fibrosa van de art. glenohumeralis en vormen een gemeenschappelijke insertie op de tuberositas van het os humeri. Deze insertie wordt vaak beschreven als de 'footprint' van de RC^{11,19}.

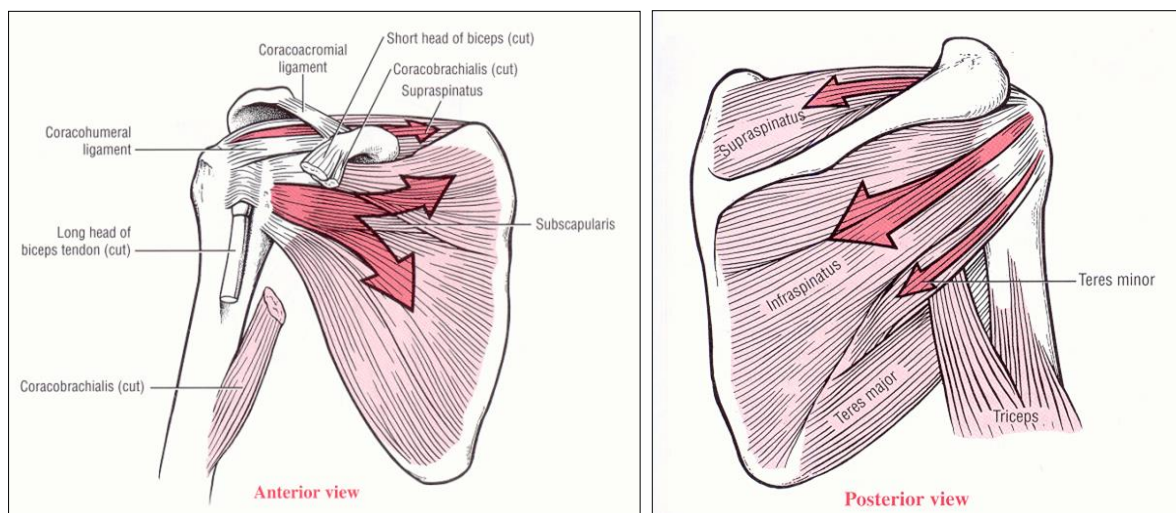


Fig. 12: Het vooraanzicht (links) en het achteraanzicht (rechts) van de rechter art. glenohumeralis. De rode pijlen geven de vezelrichting aan. Ook het caput longum van de m. biceps brachii, het lig. coracohumerales en het lig. coracoacromiale zijn weergegeven.

(Figuren afkomstig van Neumann, 2002)

m. subscapularis

De m. subscapularis (**Fig. 13**) – ook de onderschouderbladspier genoemd – is de grootste spier van de RC en ontspringt volledig in de fossa subscapularis; anterieur op het os scapulae. De m. subscapularis loopt onder de processus coracoideus en hecht aan op de tuberculum minus. Tussen het anterieur gedeelte van de capsula articularis en de pees van de m. subscapularis (aan de rand van de cavitas glenoidalis) ligt de bursa subtendinea m. subscapularis. Tussen de m. subscapularis en de basis van de processus coracoideus ligt de bursa subcoracoidea. Beide bursae staan in verbinding met de gewrichtsruimte². De m. subscapularis functioneert als een sterke endorotator en anterieure stabilisator van de art. glenohumeralis. Bij verlamming van deze spier ontstaat een maximale exorotatiestand waaruit blijkt dat zijn functie als endorotator erg belangrijk is. De m. subscapularis wordt geïnnerveerd door de nervus subscapularis (C5-C8) (**Fig. 14**) en vertoont regelmatig accessoire spierbundels^{2,22}.



Fig. 13: Vooraanzicht van de linker schouder met weergave van de m. subscapularis

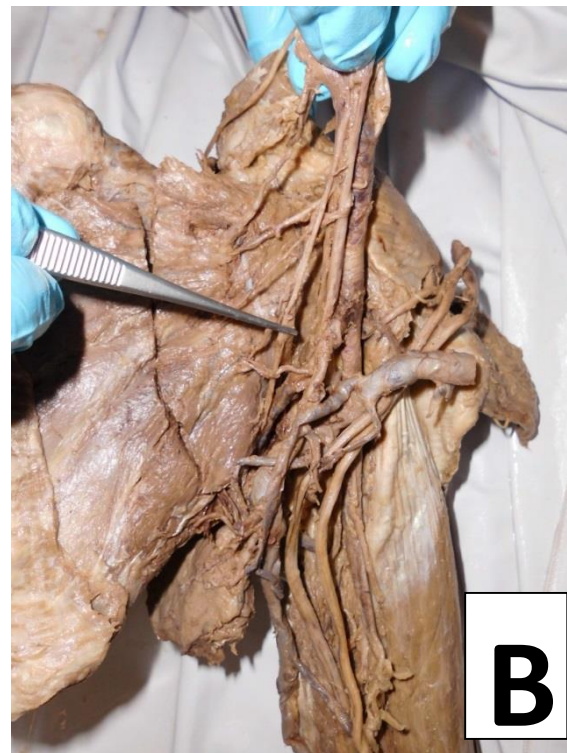
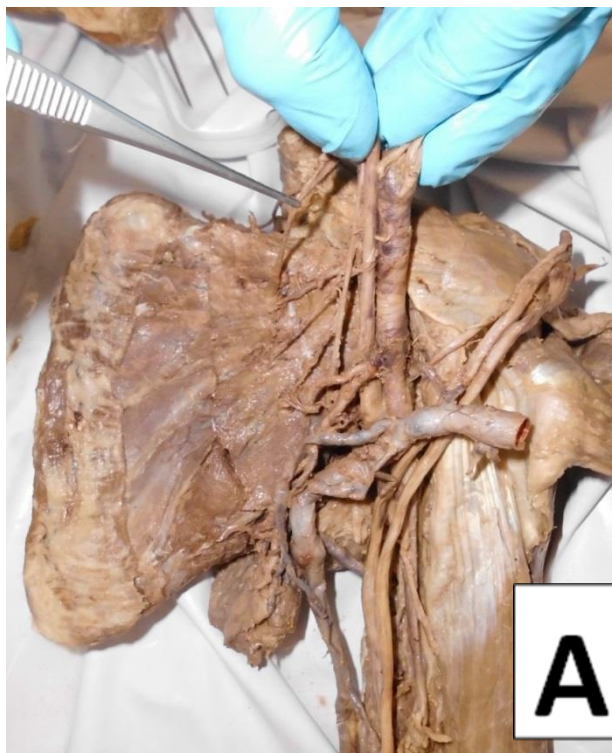


Fig. 14: Vooraanzicht van de linker schouder met weergave van de n. subscapularis superior (A) en de n. subscapularis inferior (B).

m. supraspinatus

De m. supraspinatus ontspringt in de fossa supraspinata boven de spina scapulae. De m. supraspinatus loopt onder het acromion, over de capsula articularis van de art. glenohumeralis en hecht aan op het superieur facet van het tuberculum majus van het os humeri (**Fig. 19**). Ter hoogte van de insertie is de pees van de m. supraspinatus vergroeid met de pees van de m. infraspinatus^{2,18,21}. Tussen de m. supraspinatus en de m. deltoideus, onder het acromion en op de rand van de cavitas glenoidalis ligt de bursa subacromialis^{2,3}. De m. supraspinatus is een abductor van de art. glenohumeralis en functioneert als een superieure stabilisator om impingement tegen de onderkant van het os acromion te voorkomen²¹. De m. supraspinatus wordt geïnnerveerd door de nervus suprascapularis (C4-C6)^{2,3} (**Fig. 15**).



Fig. 15: Bovenaanzicht van de rechter schouder. De m. supraspinatus werd in de helft doorgesneden om de vaatzenuwbundel waaronder de n. suprascapularis (rode cirkel) te reflecteren.

m. infraspinatus

De m. infraspinatus ontspringt in de fossa infraspinata onder de spina scapulae en hecht aan op het middelste facet van het tuberculum majus van het os humeri^{1-3,7,23} (**Fig. 19**). Ter hoogte van zijn insertie voegt de m. infraspinatus zich samen met de posterieure vezels van de pees van de m. supraspinatus²⁴. Aan de rand van de cavitas glenoidalis; onder de m. infraspinatus en boven het posterieur gedeelte van de capsula articularis van de art. glenohumeralis ligt dikwijls een bursa subtendinea m. infraspinati. De m. infraspinatus functioneert als een exorotator en als een posterieure stabilisator van de art. glenohumeralis. De m. infraspinatus wordt geïnnerveerd door de nervus suprascapularis (C4-C6) (**Fig. 16**) en is regelmatig vergroeid met de m. teres minor².



Fig. 16: Achteraanzicht van de rechter schouder. De m. infraspinatus werd in de helft doorgesneden om de vaatzenuwbundel waaronder de n. suprascapularis (rode cirkel) te reflecteren.

m. teres minor

De m. teres minor (**Fig. 17**) – ook de kleine ronde armspier genoemd – is een relatief smalle spier die ontspringt aan de margo lateralis van het os scapulae boven de oorsprong van de m. teres major en hecht aan op het inferieur facet van het tuberculum majus, distaal van het collum anatomicum^{2,3,11,19,24} (**Fig. 19**). Functioneel en anatomisch is de m. teres minor nauw verbonden met de m. infraspinatus²⁵. De m. teres minor heeft een stabiliserende en (zwakke) exorotatiefunctie in de art. glenohumeralis en wordt geïnnerveerd door de nervus axillaris (C5-C6) (**Fig. 18**). De m. teres minor is regelmatig vergroeid met de m. infraspinatus².



Fig. 17: Achteraanzicht van de rechter schouder met weergave van de m. teres minor.



Fig. 18: Achteraanzicht van de rechter schouder. De m. deltoideus werd aan zijn oorsprong losgesneden om de n. axillaris (rode cirkel) te reflecteren.

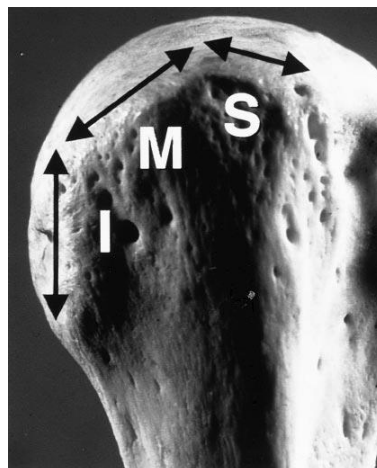


Fig. 19: De drie facetten op het tuberculum majus van de proximale humerus.
I: inferieur facet; M: middelste facet; S: superieur facet. (Figuur afkomstig van Minagawa et al., 1998)

Discussie

Als de kinesiologie faalt in één van de vier gewrichten van het schoudercomplex zal dit gevolgen hebben in de functionaliteit van de schouder en kan impingement optreden³.

Subacromiale impingement – ook gekend als externe impingement – refereert naar een inklemming van structuren in de subacromiale ruimte buiten de art. glenohumeralis zoals de bursa subacromiale en de pees van de m. supraspinatus tussen het tuberculum majus van het os humeri en de onderzijde van het os acromion^{3,5,17}. Subacromiale impingement doet zich voor als de subacromiale ruimte onder de subacromiale boog wordt verkleind. Deze subacromiale boog bestaande uit het sterke lig. coracoacromiale (**Fig. 20**) en het acromion van het os scapulae functioneert als 'dak' van de art. glenohumeralis en ligt ongeveer één centimeter boven het superieur deel van het caput humeri³. Doorheen de subacromiale ruimte loopt de bursa subacromiale met daaronder de pees en de spier van de m. supraspinatus, het caput longum van de m. biceps brachii en het superieur deel van de capsula articularis^{3,7}. De bursa subacromiale beschermd de m. supraspinatus van de rigide onderzijde van het acromion, terwijl de bursa subdeltoidea – gelegen tussen de m. deltoideus en de pees van de m. supraspinatus – de frictie tussen deze spieren beperkt tijdens schouderbewegingen^{3,6,7}. Subacromiale impingement geeft anterieure schouderpijn met een 'painfull arc' van 80-120° abductie en blokkeert verdere schouderabductie³. Deze vorm van impingement is de meest voorkomende diagnose (44-65%) bij schouderklachten^{8,13,14} en kan leiden tot scheuren in de rotator cuff⁴.

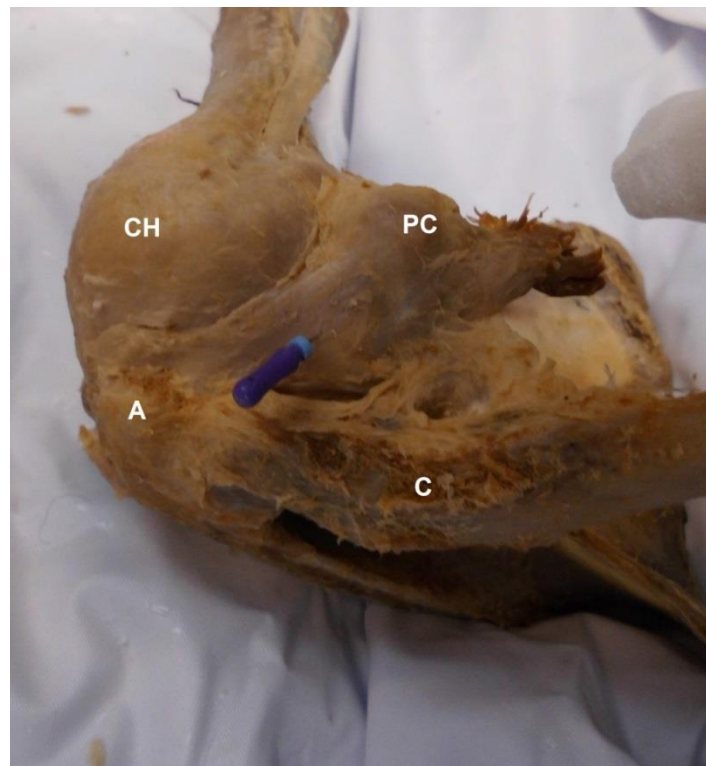


Fig. 20: Craniaal aanzicht van het linker schoudergewricht met weergave van het lig. coracoacromiale (blauw). **CH:** Caput humeri, **PC:** Processus coracoideus, **C:** Claviculae, **A:** Acromion

Posterosuperieure glenoid impingement – ook gekend als interne impingement – refereert naar een inklemming van structuren binnen de art. glenohumeralis zoals het labrum glenoidale, het caput longum van de m. biceps brachii, de m. infraspinatus en de m. supraspinatus tussen het tuberculum majus van het os humeri en de posterosuperieure rand van de cavitas glenoidalis^{4,5,7,8,17,21}. Posterosuperieure impingement geeft posterieure schouderpijn en doet zich voornamelijk voor bij zwemmers, baseball- en tennisspelers waarbij repetitieve bovenhandse bewegingen frequent worden uitgevoerd. Tijdens maximale abductie, horizontale abductie en exorotatie ('late cocking phase') kan het posterosuperieure labrum glenoidale, het caput longum van de m. biceps brachii (**Fig. 21**), de m. infraspinatus en de m. supraspinatus gecompriëerd worden^{4,5,8}.

Diverse oorzaken van impingement kunnen structureel (primair) of functioneel (secundair) van aard zijn. Bij primaire impingement wordt de subacromiale ruimte vernauwd door een structureel probleem zoals artrose t.h.v. de art. acromioclavicularis of vervorming van het os acromion (type III), terwijl bij secundaire impingement een functioneel probleem aan de basis ligt zoals scapulaire dyskinesie of glenohumeraal instabiliteit^{4,5}. Inflammatie of hypertrofie van de pees van de m. supraspinatus of een insufficiënte exorotatie van de humerus tijdens abductie in de art. glenohumeralis kunnen de oorzaak zijn van subacromiale impingement. Ook een verzwakte m. supraspinatus verhindert het inferieur glijden van het caput humeri in de cavitas glenoidalis tijdens abductie. Hierbij is het krachtenkoppel tussen de m. deltoideus en de m. supraspinatus verstoord en zorgt de m. deltoideus voor excessieve superieure translatie van het caput humeri in de cavitas glenoidalis⁴ (**Fig. 22**). Zelfs na 22° schouderabductie kan het tuberculum majus van het os humeri de structuren in de subacromiale ruimte onder de subacromiale boog comprimeren³.

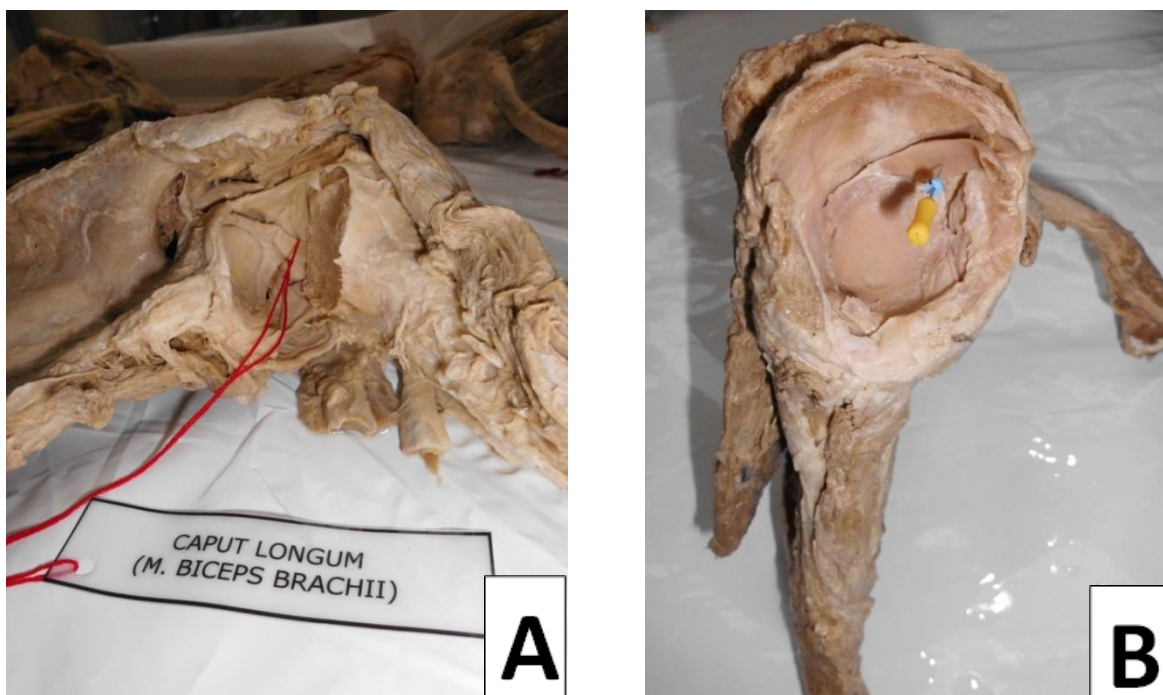


Fig. 21 A en 21 B: Weergave van het caput longum van de m. biceps brachii met z'n intra articulaire oorsprong aan het superieur deel van het labrum glenoidale.

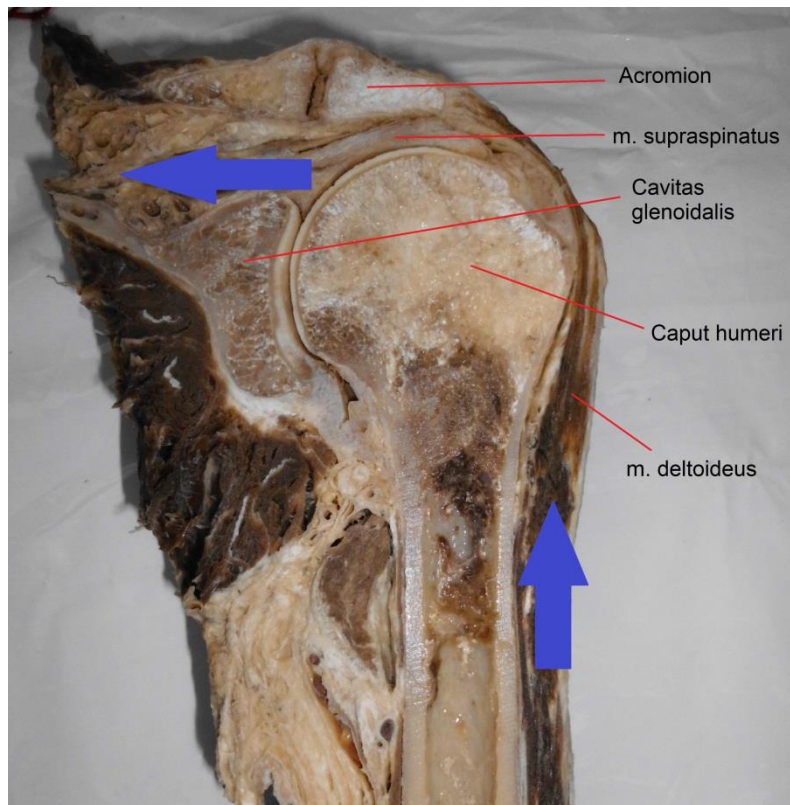


Fig. 22: Sagittale doorsnede van de linker schouder. De krachtvector van de m. deltoideus en de m. supraspinatus zijn weergegeven met een blauwe pijl.

Het is opmerkelijk dat via dissectie de anatomie van de schouder minder overzichtelijk en mooi afgelijnd is dan theoretisch wordt bewezen. De procedure van een dissectie is een traag proces, vereist ervaring en vraagt veel precisiewerk. Omwille van een beperkte tijdsspanne van zes weken hebben er vijf schouderdissecties kunnen plaatsvinden.

Er werden twee variaties gevonden in de normale morfologie van het schoudercomplex. Op één preparaat werd het lig. transversum scapulae inferius (**Fig. 23**) posterieur op het os scapulae opgemerkt als een dikke ligamentaire structuur. Deze structuur was aanzienlijk breder dan de andere preparaten die geobserveerd werden.

Tevens lijkt de pees van de m. pectoralis major op één preparaat een uitloper te hebben die parallel verloopt met het caput longum van de m. biceps brachii (**Fig. 24**). Deze variatie kan functioneel belangrijk zijn met betrekking tot de functie in de art. glenohumeralis. Zo kan de m. pectoralis major tijdens contractie een bijrol spelen in de stabiliteit van de art. glenohumeralis.

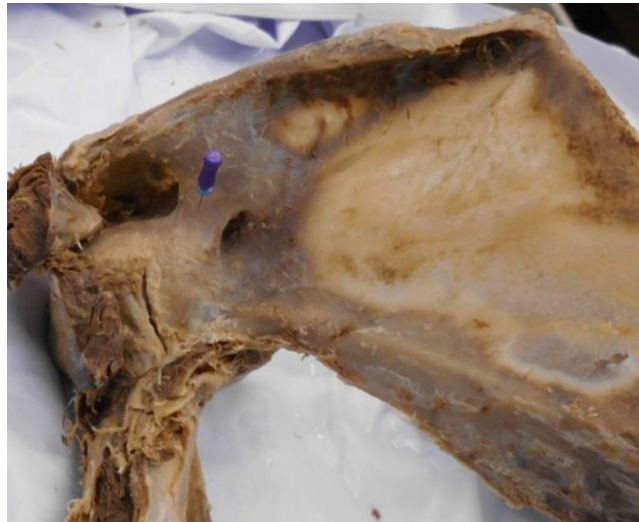


Fig. 23: Achteraanzicht van de rechter schouder met weergave van het brede lig. transversum scapulae inferius

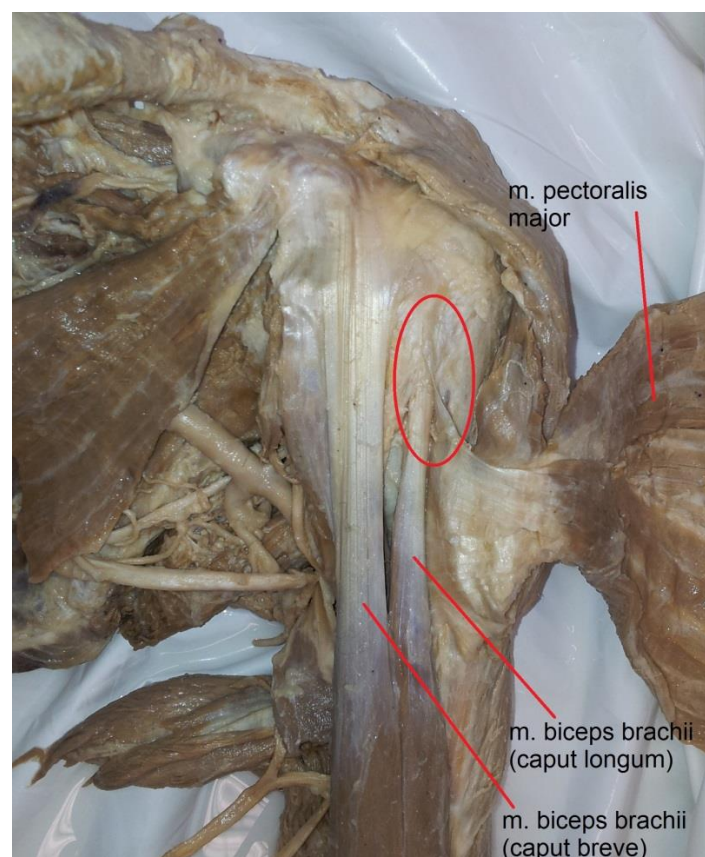


Fig. 24: Vooraanzicht van de linker schouder. De insertie van de m. pectoralis major met een uitloper (rode cirkel) parallel aan het verloop van het caput longum van de m. biceps brachii.

Conclusie

Het schoudercomplex voorziet het bovenste lidmaat tijdens dagelijkse activiteiten van zowel statische als dynamische stabiliteit waardoor optimale, functionele en gecoördineerde bewegingen kunnen plaatsvinden. De balans tussen stabiliteit en mobiliteit van het bovenste lidmaat is hierbij uiterst belangrijk. Omdat de structuren van het schoudercomplex onderling met elkaar zijn verbonden, is het van groot belang om als kinesitherapeut de schouder als een geheel te bekijken, te onderzoeken en te behandelen.

Referentielijst

1. Craig J et al. (2001). Biomechanics of the shoulder. In Nordin M & Frankel VH: Basic Biomechanics of the Musculoskeletal System. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. Chapter 12, pp. 318-339
2. Platzer, W. (2005). Sesam atlas van de anatomie; deel 1: bewegingsapparaat. Nederland: HB Uitgevers.
3. Neumann DA (2002). Shoulder complex. In Neumann DA: Kinesiology of the Musculoskeletal System: Foundations for Physical Rehabilitation. Philadelphia: Mosby. Chapter 5, pp. 91-132
4. Beltran LS et al. (2012). Internal impingement syndromes. Magn. Reson. Imaging Clin. N. Am. 20 (2012) 201-211; doi:10.1016/j.mric.2012.01.008
5. Hawkins RJ, Hobeika PE. (1983). Impingement syndrome in the athletic shoulder. Clin Sports Med 1983;2(2): 391-405
6. Agur A.M.R., Dally A.F. Grant's atlas of anatomy. (2009) 12th edition, Lippincott Williams&Wilkins; 978-0-7817-9604-0; p.512-530
7. Peat M. (1986). Functional anatomy of the shoulder complex. Journal of the American Physical Therapy Association; 66: 1855-1865. Volume 66/Nr. 12.
8. Schepsis, A.A., & Busconi, B.D. (2006). Sports medicine. Philadelphia, Pennsylvania, USA: Lippincott Williams & Wilkins
9. Smith L.K., Weiss E.L., Don Lehmkuhl L. (1996). Brunnstrom's Clinical Kinesiology, 5th ed. Philadelphia: FA Davis. Chapter 5
10. Holibka, R., Holibková, A., Laichman, S., & Růžicková, K. (2003). Some peculiarities of the rotator cuff muscles. Biomedical papers 147(2), 233-237
11. Curtis, A.S., Burbank, K.M., Tierney, J.J., Scheller, A.D., & Curran, A. R. (2006). The insertional footprint of the rotator cuff: an anatomic study. Journal of arthroscopic and related surgery. Vol 22, No 6, 603-609, Doi: 10.1016/j.arthro.2006.04.001
12. Kato, A., Nimura, A., Yamaguchi, K., Mochizuki, T., Sugaya, H., Akita, K. (2011). An anatomic study of the transverse part of the infraspinatus muscle that is closely related with the supraspinatus muscle. Surg Radiol Anat, 34:257-265, Doi: 10.1007/s00276-011-0872
13. Michener, L.A., McClure, P.W., & Karduna, A.R. (2003). Anatomical and biomechanical mechanisms of subacromial impingement syndrome. Clin Biomech; 18(5):369-379.
14. Van der Windt, D.A., Koes B.W., Boeke A.J., Deville, W., De Jong, B.A., & Bouter, L.M. (1996). Shoulder disorders in general practice: prognostic indicators of outcome. Br J Gen Pract; 46(410):519-523.
15. Halder, A.M., Itoi, E., & An, KN. (2000). Anatomy and biomechanics of the shoulder. Conservative management of shoulder injuries; 0030-5898/00; Vol 31, No 2
16. DeFranco, M.J., & Cole, B.J. (2009). Current Perspectives on Rotator Cuff Anatomy. Journal of Arthroscopic and Related Surgery. Vol 25, No 3, Doi: 10.1016/j.arthro.2008.07.023
17. Kolts, I. (1992). A note on the anatomy of the supraspinatus muscle. Arch Orthop Trauma Surg; 111:247-249

18. Clark, J.M., & Harryman, D.T. (1992). Tendons, ligaments, and capsule of the rotator cuff. Gross and microscopic anatomy. *Journal of bone and joint surgery*. Vol 74-A, No 5
19. Holibka, R., Holibková, A., Laichman, S., & Růžicková, K. (2003). Some peculiarities of the rotator cuff muscles. *Biomedical papers* 147(2), 233-237
20. Ward, S.R., Hentzen, E.R., Smallwood, L.H., Eastlack, R.K., Burns, K.A., Fithian, D.C., Friden, J., & Lieber, R.L. (2006). Rotator cuff muscle architecture: implications for glenohumeral stability. *Clinical orthopaedics and related research*. 448, 157-163, Doi: 10.1097/01.blo.0000194680.94882.d3
21. Volk, A.G., & Vangsness, C.T. Jr. (2001). An anatomic study of the supraspinatus muscle and tendon. *Clinical orthopaedics and related research*, 384, 280-285
22. Staniek, M., & Brenner, E. (2011). Variations in the anatomy of the anterior-inferior rotator cuff: the "infraglenoid muscle". *Annals of anatomy*. 194(2012)373-380, Doi: 10.1016/j.aanat.2011.11.008
23. Minagawa, H., Itoi, E., Konno, N., Kido, T., Sano, A., Urayama, M., & Sato, K. (1998). Humeral attachment of the supraspinatus and infraspinatus tendons: an anatomic study. *Journal of arthroscopic and related surgery*, Vol 14, No 3, 302-306
24. Mochizuki, T., Sugaya, H., Uomizu, M., Maeda, K., Matsuki, K., Sekiya, I., Muneta, T., & Akita, K. (2008). Humeral insertion of the supraspinatus and infraspinatus. New anatomical findings regarding the footprint of the rotator cuff. *Journal of bone joint surgery*. 90:962-9, Doi: 10.2106/JBJS.G.00427
25. Dugas, J.R., Campbell, D.A., Warren, R.F., Robie, B.H., & Millett, P.J. (2002). Anatomy and dimension of rotator cuff insertions. *Journal of shoulder and elbow surgery board of trustees*. 11:498-503, Doi: 10.1067/mse.2002.126208
26. Nakata, W., Katou, S., Fujita, A., Nakata, M., Lefor, A.T., MPH, and Sugimoto, H. (2011). Biceps Pulley: Normal Anatomy and Associated Lesions at MR Arthrography, Departments of Radiology and Surgery, Jichi Medical University School of Medicine, 3311-1 Yakushiji, Shimotsuke-shi, Tochigi-ken 329-0498, Japan, doi: <http://dx.doi.org/10.1148/rg.313105507>

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

Functionele anatomie van het schoudercomplex en de rotator cuff musculatuur

Richting: **master in de revalidatiewetenschappen en de kinesitherapie-revalidatiewetenschappen en kinesitherapie bij musculoskeletale aandoeningen**

Jaar: **2014**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Claes, Celien