

Samenvatting

Whiplash trauma is een van de meest bekende letsels bij achteraanrijdingen. Hoewel deze letsels behoren tot de categorie lichte letsels, kunnen de sociale en financiële gevolgen aanzienlijk zijn. De achterliggende gedachte van dit onderzoek is dat wiskundige modellen van de menselijke nek bij kunnen dragen aan het inzicht in het letselmechanisme en gebruikt kunnen worden in letselpreventie onderzoek. Het eerste doel van dit onderzoek is het ontwikkelen en valideren van een gedetailleerd drie dimensionaal wiskundig model dat zowel het globale dynamische gedrag maar ook de lokale belastingen van het nekweefsel kan beschrijven tijdens ongevallen. Het tweede doel is het model toe te passen om inzicht te krijgen in factoren die het letselrisico kunnen beïnvloeden, zoals de mate van spieractivatie, de initiële zithouding en de hoofdsteunpositie.

Er is een gedetailleerd nekmodel ontwikkeld dat uit de volgende elementen bestaat: een onvervormbaar hoofd en onvervormbare wervellichamen, niet lineair visco-elastische tussenwervelschijven, wrijvingsloze facetgewrichten, niet lineair visco-elastische ligamenten en contractiele spierelementen. Deze spieren volgen de kromming van de nek wat resulteert in realistische werklijnen van de spierkrachten. De stijfheidseigenschappen van de weefsels zijn gebaseerd op literatuurgegevens. Het nekmodel kan als losse module gebruikt worden, maar kan ook geïntegreerd worden in een model van de gehele mens. De globale kinematica, zoals hoofd verplaatsingen en rotaties kunnen worden voorspeld met dit nekmodel.

Het nek model is gevalideerd voor zowel quasi-statische als dynamische condities. Gepubliceerde quasi-statische experimentele gegevens zijn gebruikt om modellen van neksegmenten te valideren voor 6 vrijheidsgraden. Daarnaast zijn ook quasi-statische flexie-extensie testen van de gehele nek gebruikt voor validatie. Slede testen met vrijwilligers als ook met menselijke kadavers zijn gebruikt voor de validatie van het dynamische gedrag van de nek. Simulaties van 15 g frontale en 7 g zijdelingse botsingen zijn uitgevoerd met het nekmodel. De achteraanrijdingen zijn gesimuleerd met het mensmodel met gedetailleerde nek. Deze validatiereeks beslaat achteraanrijdingen in de range van 12 g voor de kadaver experimenten, 4-5 g en 0.7 g voor de experimenten met vrijwilligers. Nauwkeurige gegevens over de spieractivatie van de vrijwilligers waren niet beschikbaar. Daarom zijn er modelparameter variaties van de reflectijd en het spieractivatieniveau uitgevoerd. De gebruikte invoer voor het spiermodel was voornamelijk gebaseerd op experimentele gegevens uit de literatuur alsmede op gegevens uit testen van achterwaartse belastingen bij lage snelheden met

vrijwilligers uitgevoerd in Maastricht. Bovendien zijn er voor de achteraanrijdingen ook simulaties uitgevoerd met verschillende zithoudingen en hoofdsteunposities.

De hoofdconclusies van deze studie zijn:

- Het quasi-statische passieve gedrag van de nek komt redelijk tot goed overeen met de experimentele gegevens.
- De simulatieresultaten gecombineerd met gepubliceerde experimentele resultaten geven aan dat nekspieren de hoofd- en nekbeweging kunnen beïnvloeden tijdens achterwaartse, frontale en zijdelingse botsingen.
- Het model met actief spiergedrag voorspelt een redelijke tot goede hoofd- en nekbeweging voor frontale, zijdelingse en achteraanrijdingen waarbij geen hoofdcontact optreedt. Zonder spieractivaties voorspelt het model grotere hoofd- en nekbewegingen dan de experimentele resultaten. Voor de simulaties waarbij contact tussen hoofd en hoofdsteun optreedt is de voorspellende waarde minder goed.
- Voor variaties in de condities van de spieren (reflextijd, activatieniveau, co-contractie van de verschillende spiergroepen), de hoofdsteunposities en de zithoudingen zijn verschillende trends zichtbaar voor de globale en lokale krachten en hoofd- en nekbewegingen. De spiervariaties hebben een grotere invloed op de interne krachten voor de tussenwervelschijven, facetgewrichten en ligamenten dan de variaties in zithouding en hoofdsteunposities. Dit impliceert dat nauwkeurige modelinvoer voor spieractivatie niet alleen noodzakelijk is voor het voorspellen van een goede globale response, maar ook voor de lokale response van het model.
- Een correlatie studie uitgevoerd met het nekmodel laat geen sterke relatie zien tussen de globale nekletsel criteria en lokale weefselbelastingen. Op basis hiervan kan het gebruik van globale criteria voor het voorspellen van lokale letsels worden betwijfeld.
- Aangezien het model de krachten en kinematica van het nekweefsel kan berekenen, is het model dat in dit proefschrift gepresenteerd wordt, geschikt voor verdere studie naar nekletselmechanismen en nekletselcriteria.