

Range of Motion tijdens militair relevante handelingen

Wat is de ROM van de heup, knie en enkel, zodat een militair optimaal kan functioneren met de Exobuddy?

Bachelorscriptie

11 juni 2019

InteSpring

F.G. Baas

Mens & Techniek | Bewegingstechnologie

W.L.C. van der Zee

R.M.A. van der Slikke

Auteur

Michelle Bellekom

14036312



Range of Motion tijdens militair relevante handelingen

Wat is de ROM van de heup, knie en enkel, zodat een militair optimaal kan functioneren met de Exobuddy?

11 juni 2019
Bachelorscriptie

InteSpring

F.G. Baas

Begeleider

Mens & Techniek | Bewegingstechnologie

W.L.C. van der Zee

Eerste begeleider

R.M.A. van der Slikke

Tweede begeleider

Auteur

Michelle Bellekom

14036312

Voorwoord

Voor u ligt de bachelorscriptie 'De Range of Motion tijdens militair relevante handelingen'. Deze scriptie bevat een onderzoek naar de Range of Motion van de heup, knie en enkel tijdens militair relevante handelingen, zodat een militair optimaal kan functioneren met de Exobuddy. Deze scriptie is geschreven voor mijn afstuderen van de opleiding Bewegingstechnologie aan de Haagse Hogeschool en in opdracht van InteSpring. Van maart 2019 tot juni 2019 ben ik bezig geweest met het onderzoek en het schrijven van deze scriptie.

Samen met mijn collega en begeleider Frank Baas heb ik de onderzoeksvraag opgesteld. Naast Frank stonden mijn collega's bij InteSpring altijd klaar om mij te helpen met mijn onderzoek. Ook mijn begeleiders van Bewegingstechnologie, Wytze van der Zee en Rienk van der Slikke, waren te allen tijde bereid mijn vragen te beantwoorden. Ik wil alle begeleiders en anderen die mij geholpen hebben dit onderzoek te voltooien bedanken.

Ten slotte wil ik iedereen bedanken die als proefpersoon heeft meegewerkt aan dit onderzoek, want zonder hen had ik dit onderzoek niet uit kunnen voeren. In het bijzonder wil ik mijn vriend Bob Roos bedanken, die mij door weer en wind gesteund en gemotiveerd heeft.

Ik wens u veel plezier met het lezen van het onderzoek waar ik met genoegen aan gewerkt heb.

Michelle Bellekom

Delft, 11 juni 2019

Samenvatting

Om de veiligheid en prestaties van militairen te verbeteren is de Exobuddy ontworpen. De Exobuddy is een militair exoskelet dat in staat is minstens 50% van de rugzak te ondersteunen tijdens voorwaartse bewegingen. Naast het ondersteunen van de rugzak tijdens voorwaarts verplaatsen, is het noodzakelijk dat de militair houdingen kan aannemen om zijn veiligheid te garanderen. Het doel van deze studie is om de Range of Motion van de heup, knie en enkel te bepalen tijdens voorwaarts verplaatsen en tijdens militair relevante handelingen. Hierdoor kan de Exobuddy verder ontwikkeld worden zodat een militair optimaal kan functioneren met de Exobuddy.

De Range of Motion in deze studie betreft de bewegingsvrijheid in een gewricht die nodig is om een bepaalde handeling uit te voeren, en wordt gemeten gedurende de beweging, omdat het aannemen van een houding soms grotere bewegingsuitslagen vergt dan de houding zelf. Naast de diverse schiethoudingen betreffen militair relevante handelingen het verplaatsen in verschillende richtingen en overwinnen van obstakels te voet.

In 2019 zijn er metingen gedaan waarbij vijf gezonde proefpersonen dertien militair relevante handelingen uitvoerden. Alle handelingen zijn uitgevoerd conform het Handboek Militair (Ministerie van Defensie, 2016) en de juistheid ervan werd gewaarborgd door de aanwezigheid van een militair. Met behulp van markers op het lichaam werd elke militair relevante handeling met een 3D motion capture systeem (OptiTrack) vastgelegd en vertaald naar maximale gewrichtshoeken in elke bewegingsrichting (in graden). Van elke handeling werd over alle proefpersonen de gemiddelde maximale gewrichtshoek berekend met bijbehorende standaarddeviatie en deze werden weergegeven in een staafdiagram met errorbar, waarbij het linker- en rechterbeen los van elkaar weergegeven werden.

Deze data leverde per handeling voor elke bewegingsrichting een maximale hoekuitslag op.

Minimaal moet het mogelijk zijn om voorwaarts te kunnen lopen met de Exobuddy, daarvoor is de Range of Motion in de heup, knie en enkel als volgt.

Heup: 25,3° retroflexie en 40,1° anteflexie; 23,3° exorotatie en 15,0° endorotatie; 23,4° abductie en 25,2° adductie

Knie: 70,6° flexie en 6,5° extensie

Enkel: 17,9° plantairflexie en 16,0° dorsaalflexie; 13,2° eversie en 7,4° inversie

Om optimaal te kunnen functioneren moet de Exobuddy ook de bewegingsuitslagen van de militair relevante handelingen toelaten, daarvoor is de Range of Motion van de heup, knie en enkel als volgt.

Heup: 27,1° retroflexie en 132,1° anteflexie; 50,5° exorotatie en 34,1° endorotatie; 49,7° abductie en 28,2° adductie

Knie: 161,9° flexie en 5,9° extensie

Enkel: 33,1° plantairflexie en 28,1° dorsaalflexie; 22,7° eversie en 30,7° inversie

De verkregen data in deze studie is genoeg voor InteSpring om verder te kunnen met de ontwikkeling van de Exobuddy. Om meer te kunnen zeggen over het effect van de bepakking op de Range of Motion, is onderzoek nodig met een grotere populatie en met uitsluitend militairen die bekend zijn met het dragen van deze bepakking.

Inhoud

Inleiding	6
Theoretisch kader	8
Range of Motion (ROM).....	8
Militair relevante handelingen	9
Schietbereidheid middel	10
Verplaatsen.....	10
Schiethoudingen	14
Methode	16
Proefpersonen	16
Materiaal	16
Uitrusting	16
OptiTrack	17
Procedure	17
Data-analyse	18
Resultaten.....	21
Discussie	24
Conclusie.....	25
Literatuurlijst	27
Bijlage 1. Handboek Militair	28
Bijlage 2. Maximale hoekuitslag per bewegingsrichting en conditie voor elke militair relevante handeling	37
Bijlage 3. Hoekuitslagen per bewegingsrichting van alle militair relevante handelingen	50

Inleiding

Goed materiaal is essentieel om de veiligheid en prestaties van militairen te garanderen. In de afgelopen honderd jaar is de uitrusting, en daarmee het totale gewicht dat militairen dragen, drastisch vergroot. Bij sommige missies dragen soldaten tot 60 kg uitrusting. Ook al biedt een betere uitrusting veel voordelen, de toename van gewicht zorgt er ook voor dat soldaten last hebben van gewrichten. Kleine blessures en pijn hebben een negatief effect op het situationele bewustzijn en dat vergroot de kans op blessures tijdens een missie (InteSpring, 2018).

Om de veiligheid en prestaties van militairen te verbeteren hebben DEC M&U (Defensie Expertise Centrum Militair en Uitrusting), TNO (Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek, Den Haag, Nederland) en InteSpring (InteSpring B.V., Delft, Nederland) gezamenlijk de Exobuddy ontworpen (Figuur 1, InteSpring, 2018). De Exobuddy is een militair exoskelet dat in staat is om minstens 50% van de statische last op de rug van de gebruiker te ondersteunen bij verplaatsingen te voet, door deze buiten het lichaam om naar de grond te leiden. De Exobuddy is een passief systeem, dat geen energie toevoegt aan het totale systeem van gebruiker en last. Omdat de Exobuddy alleen ondersteunende kracht kan leveren tijdens beweging, is het noodzakelijk dat het mogelijk is om voorwaarts te lopen met de Exobuddy. De voorwaartse beweging van de soldaat wordt met behulp van een veer omgezet in een verticale ondersteunende kracht, waarbij de rugzak als het ware opgetild wordt. Hierdoor is er geen batterij of aandrijver nodig (InteSpring, 2018).



Figuur 1 Exobuddy

Tijdens andere handelingen die een militair uitvoert hoeft de rugzak niet ondersteund te worden, maar de Exobuddy moet de benodigde bewegingsuitslagen wel toelaten. Het gebruik van de Exobuddy kan diverse effecten opleveren. Doordat er minder druk van de rugzak is, kunnen blessures van de rug en de benen verminderd worden. Daarnaast kan het voor specifieke eenheden interessant zijn om meer te kunnen tillen zodat er bijvoorbeeld meer munitie meegenomen kan worden, of verder verplaatst kan worden. Wanneer bij het gebruik van de Exobuddy dezelfde uitrusting gedragen wordt, zal het verminderen van de draaglast zorgen voor minder blessures en pijn, wat ervoor zorgt dat de militair zich meer kan bezighouden met zijn omgeving. Het vergroten van het situationele bewustzijn kan blessures voorkomen (Programma van Eisen Exobuddy).

Om dit grotere situationele bewustzijn mogelijk te maken is het voorwaardelijk dat de militair minder vermoeid raakt tijdens het verplaatsen met uitrusting, wat alleen mogelijk is als de Exobuddy in staat is om de rugzak te ondersteunen tijdens voorwaarts lopen. Daarnaast moet de Exobuddy de bewegingsuitslagen van het lichaam toelaten voor het uitvoeren van militair relevante handelingen tijdens het verplaatsen. Om te bepalen welke militair relevante handelingen mogelijk zijn met de Exobuddy is het noodzakelijk om te weten wat de bewegingsuitslagen zijn van deze handelingen, waarna InteSpring ervoor kan zorgen dat een militair zich veilig kan verplaatsen met de Exobuddy. Het overwinnen van obstakels te voet en het aannemen van schiethoudingen moet zonder beperking van noodzakelijke lichaamsbewegingen mogelijk zijn, om blessures te voorkomen. Door de militair relevante handelingen op basis van de grootte van de bewegingsuitslagen te classificeren, kan InteSpring bepalen welke handelingen met de Exobuddy uitgevoerd moeten kunnen worden en welke handelingen een andere oplossing vereisen. Om ervoor te zorgen dat de gekozen militair relevante handelingen zonder hindering uitgevoerd kunnen worden moet de Exobuddy beschikken over voldoende bewegingsvrijheid in het heup-, knie- en enkelgewricht. Door de militair relevante handelingen te digitaliseren wordt het voor InteSpring in de toekomst eenvoudiger om een nieuw idee te testen aan een computermodel alvorens het te bouwen.

Het doel van deze studie is om de Range of Motion (ROM) van de heup, knie en enkel te bepalen tijdens militair relevante handelingen, zodat een militair optimaal kan functioneren met de Exobuddy. De ROM wordt gedurende deze handelingen dynamisch bepaald met een 3D-meetsysteem, omdat het aannemen van een houding soms grotere bewegingsuitslagen vergt dan de houding zelf.

Omdat het nog niet helemaal duidelijk is welke militair relevante handelingen mogelijk moeten kunnen zijn met de Exobuddy, is er in deze studie gezocht naar de minimaal vereiste ROM tijdens voorwaarts lopen waarbij de Exobuddy de rugzak kan ondersteunen, en naar de maximale ROM die de Exobuddy moet kunnen toelaten om alle militair relevante handelingen uit te kunnen voeren.

Theoretisch kader

Range of Motion (ROM)

Range of motion (ROM) is de bewegingsvrijheid in graden die mogelijk is in een gewricht. ROM wordt onderscheiden in actieve range of Motion (AROM) en passieve range of motion (PROM). AROM is de bewegingsvrijheid in een gewricht tijdens een vrijwillige actieve contractie van de spieren, PROM is de bewegingsvrijheid in een gewricht door externe kracht. Over het algemeen is PROM groter dan AROM. Er is in het verleden een aantal keer onderzoek gedaan naar de ROM met als doel het verkrijgen van leeftijdsspecifieke normaalwaardes van de ROM van de onderste extremiteit van gezonde proefpersonen, waarin de begin en eindpositie van de gewrichten met een universele goniometer in de anatomisch vlakken gemeten is (Souchie et al., 2010; Roach & Miles, 1991; Roaas & Andersson, 1982; Boone & Azen, 1979). Deze onderzoeken zullen dienen als referentie om de ROM tijdens militair relevante handelingen in perspectief te kunnen plaatsen. In elk van deze onderzoeken wordt geconcludeerd dat er geen statisch significant verschil is tussen het meten van de ROM aan de linker- of rechterzijde. Ook zijn deze onderzoeken het erover eens dat de ROM van alle gewrichten van de onderste extremiteit afneemt naarmate de leeftijd toeneemt.

Boone & Azen (1979) en Roaas & Andersson (1982) hebben beiden de ROM gemeten volgens de richtlijnen van the American Academy of Orthopaedic Surgeons (AAOS). Toch komt de verkregen ROM van deze drie studies niet geheel overeen. Dit verklaren Roaas & Andersson (1982) door het verschil in meetmethode. Boone & Azen (1979) meten AROM terwijl Roaas & Andersson (1982) PROM meten. Ook komen de lichaamsposities waarin de ROM gemeten is niet geheel overeen, waardoor bij AROM de zwaartekracht een rol gaat spelen (Roach & Miles, 1991). Deze verschillen gelden ook voor de andere studies. Daarnaast hebben Roaas & Andersson (1982) en Roach & Miles (1991) de waardes afgerond naar de dichtstbijzijnde 5°, terwijl de andere studies afgerond hebben naar de dichtstbijzijnde 1°, wat zorgt voor verschillen in de gemiddelde ROM.

Uiteraard verschilt een normale ROM van persoon tot persoon, onder andere door leeftijd en geslacht. Vrouwen hebben over het algemeen een grotere ROM dan mannen (Souchie et al., 2010). In tabel 1 is een overzicht gegeven van de normaalwaardes van de ROM van de onderste extremiteit van gezonde proefpersonen volgens deze studies.

Tabel 1 Vergelijking van normaalwaardes ROM (graden) van de heup, knie en enkel. Gemiddelde waardes met tussen haakjes de standaarddeviatie.

	Souchie <i>et al.</i>		Roach	Roaas	B&A	
	2010		1991	1982	1979	AAOS
Bewegingsrichting						
Actief/passief	Passief	Passief	Actief	Passief	Actief	
Geslacht	Man	Vrouw	Man/ vrouw	Man	Man	
N	114	143	433	96	56	
Leeftijd	20-44	20-44	25-39	30-40	20-54	
Heup						
Retroflexie	17.4 (5.9)	18.1 (6.6)	22 (8)	9.4 (5.3)	12.1 (5.4)	28
Anteflexie	130.4 (7.5)	133.8 (7.9)	122 (12)	120.3 (8.3)	121.3 (6.4)	113
Exorotatie	-	-	34 (8)	33.6 (6.8)	44.2 (4.8)	45
Endorotatie	-	-	33 (7)	32.6 (8.2)	44.4 (4.3)	45
Abductie	-	-	44 (11)	38.8 (7.0)	40.5 (6.0)	48
Adductie	-	-	-	30.5 (7.3)	25.6 (3.6)	31
Knie						
Flexie	137.7 (6.5)	141.9 (6.3)	134 (9)	143.8 (6.4)	141.2 (5.3)	134
Extensie	1.0 (2.3)	1.6 (2.8)	-	(-)1.6 (2.8)	1.1 (2.0)	10
Enkel						
Plantairflexie	54.6 (7.8)	62.1 (9.3)	-	39.7 (7.5)	54.3 (5.9)	48
Dorsaalflexie	12.7 (5.9)	13.8 (5.5)	-	15.3 (5.8)	12.2 (4.1)	18
Eversie	-	-	-	27.6 (4.6)	19.2 (4.9)	18
Inversie	-	-	-	27.7 (6.9)	36.2 (4.2)	33

De vergelijking is gemaakt tussen J.M. Souchie et al., K.E. Roach & T.P. Miles, A. Roaas & B.J. Andersson, D.C. Boone & S.P. Azen (B&A), en the American Academy of Orthopaedic Surgeons (AAOS).

Militair relevante handelingen

In tegenstelling tot voorgaande onderzoeken waarin louter begin- en eindpositie gemeten worden, betreft de ROM in deze studie de gewrichtshoeken gedurende een beweging. Dit is in meerdere handelingen zeer relevant, omdat er tijdens het aannemen van een houding soms grotere bewegingsuitslagen nodig zijn dan aan de eindpositie te zien is. Naast het aannemen van de schiethoudingen is ook het opstaan uit de schiethoudingen gemeten. Bijvoorbeeld bij de liggende schiethouding, is in de eindpositie geen knieflexie te zien, terwijl er toch een flinke knieflexie nodig is om in de liggende schiethouding te geraken en om vanuit de schiethouding weer tot stand te komen (zie Figuur 2).



Figuur 2 ROM gedurende een militair relevante handeling

Om te voorkomen dat het uiteindelijk niet mogelijk is om in een bepaalde houding te komen wordt de ROM tijdens de gehele handeling bepaald. Hierna wordt elke militair relevante handelingen nader toegelicht.

Schietbereidheid middel

De schietbereidheid middel (zie Bijlage 1) is een van de houdingen die tijdens verplaatsingen te voet aangehouden kan worden.

De rechterhand omvat de pistoolgreep met de rechterwijsvinger gestrekt langs de trekkerbeugel, de linkerhand ondersteunt het wapen om de handbeschermer, de kolf ter hoogte van de schouder en het wapen wijst onder een hoek van ongeveer 45° naar beneden (Figuur 3).



Figuur 3 Schietbereidheid middel

Verplaatsen

Verplaatsen kan in verschillende richtingen. Voorwaarts verplaatsen is de meeste gebruikelijke vorm van verplaatsen, maar ook achterwaarts en zijwaarts verplaatsen zijn veel gebruikte technieken. In deze studie is de ROM tijdens verplaatsen op vier verschillende manieren gemeten.

- Voorwaarts lopen

Voorwaarts lopen is een vorm van voorwaarts verplaatsen waarbij op lage snelheid in voorwaartse richting verplaatst wordt.



Figuur 4 Voorwaarts lopen

- Achterwaarts lopen

Achterwaarts lopen is een vorm van achterwaarts verplaatsen waarbij op lage snelheid in achterwaartse richting verplaatst wordt.



Figuur 5 Achterwaarts lopen

- Sluitpas

De sluitpas is een vorm van zijwaarts verplaatsen, waarbij de voet steeds aansluit bij de ander alvorens een nieuwe stap te zetten. Bij sluitpas passeren de benen elkaar niet.



Figuur 6 Sluitpas

- Kruispas

De kruispas is een vorm van zijwaarts verplaatsen, waarbij de benen elkaar bij elke stap kruisen, afwisselend voor- en achterlangs.



Figuur 7 Kruispas

Tijdens het verplaatsen kunnen obstakels voorkomen in verschillende vormen. In deze studie zijn de obstakels vereenvoudigd. Onderstaande obstakels zijn niet de enige obstakels die militairen tegen kunnen komen, maar deze vormen gecombineerd geven een goed beeld van de ROM bij verplaatsingen met obstakels.

- Over obstakel stappen

Over een obstakel stappen wordt in deze studie voorwaarts uitgevoerd, waarbij in een vloeiende beweging over het obstakel gestapt wordt.



Figuur 8 Over obstakel stappen

- Op obstakel stappen

Op een obstakel stappen wordt in deze studie voorwaarts uitgevoerd, waarbij in een vloeiende beweging op het obstakel gestapt wordt.



Figuur 9 Op obstakel stappen

- Van obstakel af stappen

Van een obstakel af stappen wordt in deze studie voorwaarts uitgevoerd, waarbij in een vloeiende beweging van het obstakel af gestapt wordt.



Figuur 10 Van obstakel af stappen

- Voorwaarts onder obstakel door

Voorwaarts onder een obstakel door lopen gaat door middel van vooroverbukken, waar rekening gehouden wordt met de tas op de rug. Dit maakt dat er verder door de benen gezakt wordt waarbij de romp meer rechtop blijft. Het hoofd blijft tijdens de handeling rechtop.



Figuur 11 Voorwaarts onder obstakel door

– Zijwaarts onder obstakel door

Zijwaarts onder een obstakel door stappen wordt in deze studie uitgevoerd door eerst diep door de knieën te zakken, waarna zijwaarts uitgestapt wordt om vervolgens aan de andere kant van het obstakel weer uit te strekken tot stand. Het hoofd blijft tijdens de handeling rechtop.



Figuur 12 Zijwaarts onder obstakel door

– Over greppel springen

Bij het springen over een greppel wordt er na een korte aanloop afgezet met een been, waarna geland wordt met twee benen gelijktijdig, om het gewicht van de bepakking op te vangen.



Figuur 13 Over greppel springen

Schiethoudingen

Om de veiligheid van militairen te kunnen garanderen is het noodzakelijk dat de militair zich kan beschermen. Daarom is onderzocht wat de ROM is tijdens het aannemen van diversie schiethoudingen. Voor de schiethoudingen is gebruik gemaakt van het Handboek Militair (Ministerie van Defensie, 2016) en is gekozen voor de schiethouding met vrije hand, omdat dit de snelst aanneembare schiethouding is.

– Staande schiethouding

Bij het aannemen van de staande schiethouding staan de voeten op schouderbreedte uit elkaar. De rechtervoet wordt achterwaarts verplaatst. De voeten staan onder een hoek van 90° t.o.v. elkaar. Het wapen wordt met de rechterhand om de pistoolgreep en de linkerhand ondersteunend om de handbeschermer, met de kolf in de schouder, richting doel gehouden. Het bovenlichaam is rechtop en het wordt d.m.v. een bolle rug naar voren gebracht om de terugslag van het wapen op te vangen. De stand van het hoofd vloeit voort uit de totale houding en is nagenoeg rechtop waarbij de wang tegen de kolf ligt (Figuur 14). (Bijlage 1. Staande schiethouding vrije hand)



Figuur 14 Staande schiethouding

– Knielende schiethouding

Bij het aannemen van de knielende schiethouding staan de voeten op schouderbreedte uit elkaar. De linkerzijde van de schutter wijst onder een hoek van 45° naar het doel. Het wapen wordt met de rechterhand om de pistoolgreep en de linkerhand ondersteunend om de handbeschermer richting doel gehouden. De rechtervoet wordt achterwaarts verplaatst. Vervolgens zakt de schutter door de knieën en gaat op de rechterhiel zitten waarbij de driehoek linkervoet-rechtervoet-rechterknie als stabiele basis dient. De linkerelleboog steunt op de linkerknie en de kolf wordt in de schouder geplaatst. De stand van het hoofd vloeit voort uit de totale houding en is nagenoeg rechtop, de wang ligt tegen de kolf (Figuur 15). (Bijlage 1. Knielende schiethouding vrije hand)



Figuur 15 Knielende schiethouding

– Liggende schiethouding

Bij het aannemen van de liggende schiethouding wordt het wapen in de rechterhand aan de pistoolgreep vastgehouden. De linkerhand wordt naar de grond gebracht en het linkerbeen wordt naar achteren geplaatst. De rechterelleboog komt dan aan de grond en met de linkerhand wordt het wapen ondersteund om de handbeschermer. De rechterhand houdt het wapen met de kolf in de schouder. De stand van het hoofd vloeit voort uit de totale houding en is nagenoeg rechtop, de wang ligt op en tegen de kolf. Met het wapen op het doel gericht ligt het lichaam in een hoek van 30°. De benen liggen gespreid naar achter, de voeten plat op de grond.

Bij het opstaan uit de liggende schiethouding wordt het wapen in de rechterhand aan de pistoolgreep vastgehouden. De linkerhand wordt naast de borst geplaatst en het lichaam wordt omhooggeduwd, zonder daarbij de knieën aan de grond te brengen. De linkervoet wordt onder het lichaam geplaatst en duwt het lichaam omhoog (Figuur 16). (Bijlage 1. Liggende schiethouding vrije hand)



Figuur 16 Liggende schiethouding

Methode

In dit onderzoek is kwantitatief onderzoek gedaan om te bepalen wat de ROM is van de heup, knie en enkel tijdens het uitvoeren van militair relevante handelingen. Door deze handelingen te digitaliseren wordt het voor InteSpring in de toekomst eenvoudiger om een nieuw idee te testen aan een computermodel alvorens het te bouwen.

Proefpersonen

Het doel van dit onderzoek was het verkrijgen van informatie over de ROM van de heup, knie en enkel tijdens militair relevante handelingen. Omdat deze handelingen met bepakking uitgevoerd worden is het wenselijk dat deze handelingen tijdens dit onderzoek gedaan worden door mensen die comfortabel zijn met deze bepakking. Dat bracht al snel de conclusie dat dit onderzoek het beste met militairen uitgevoerd kon worden. Vanwege tijdgebrek was dit niet mogelijk.

Deze studie is uitgevoerd met vijf gezonde Nederlanders met een gemiddelde (SD) leeftijd van 26,8 (4,8) jaar, lengte van 187,6 (5,9) cm en gewicht van 79,1 (13,2) kg. Onder hen waren zowel mannen (N=4) als vrouwen (N=1). Allen waren vrij van blessures die het onderzoek zouden kunnen belemmeren. Onder de proefpersonen was één militair, welke bij alle metingen aanwezig was om te waarborgen dat de militair relevante handelingen op correcte wijze uitgevoerd werden, de overige proefpersonen hadden affiniteit met de Exobuddy en kennis van de militair relevante handelingen en de bepakking.

Materiaal

De Exobuddy is in staat om minstens 50% van de statische last op de rug van de gebruiker te ondersteunen bij verplaatsingen te voet (Intespring, 2018). Om een realistisch beeld te creëren van een militair in het veld, werd er tijdens de metingen gebruik gemaakt van een militaire uitrusting. Echter mocht de zichtbaarheid van de markers op het lichaam niet beperkt worden door deze uitrusting. Daarom is ervoor gekozen om de meting met alleen de rugzak, de schoenen en het wapen uit te voeren, omdat deze het meeste bepalend zijn voor de wijze waarop de handelingen worden uitgevoerd. Het OPS-vest, een draagsysteem waaraan meerdere kleine tasjes bevestigd kunnen worden, werd hierbij om meerdere redenen weggelaten. Ten eerste omdat het vest de zichtbaarheid van te veel markers zou beperken, ten tweede omdat deze studie gericht is op het vinden van de maximale bewegingsuitslagen en het OPS-vest slechts beperkend zou zijn en ten slotte omdat de Exobuddy het gewicht van het OPS-vest niet gaat ondersteunen.

Uitrusting

Voor de rugzak werd er gebruik gemaakt van de Lowe Alpine Saracen met een volume van 120 liter en een gewicht tot 30kg. De schoenen die gedragen werden waren Meindl Island MFS Active GTX. Omdat het voor deze studie niet relevant was om daadwerkelijk te kunnen richten en schieten met het wapen is ervoor gekozen om een replica van het militaire wapen (Colt c7) te gebruiken. Deze replica is qua vorm hetzelfde als het origineel, qua gewicht echter niet. De colt c7 weegt 3,92kg terwijl de replica slechts 1,65kg weegt. Dit verschil in gewicht heeft een minimale invloed op de houding, het gebruik van het wapen was voornamelijk bedoeld voor een realistische weergave van het gebruik van de armen in een beweging.

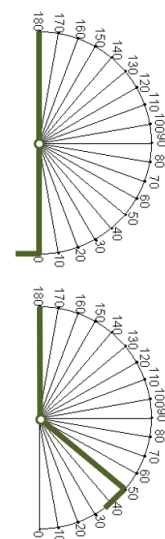
Tabel 2 Serie van militair relevante handelingen

Voorwaarts lopen
Achterwaarts lopen
Sluitpas
Kruispas
Over obstakel stappen
Op obstakel stappen
Van obstakel af stappen
Voorwaarts onder obstakel door
Zijwaarts onder obstakel door
Over greppel springen
Staande schiethouding
Knielende schiethouding
Liggende schiethouding

Deze serie van militair relevante handelingen werd steeds in dezelfde volgorde uitgevoerd. Deze serie van handelingen werd drie keer uitgevoerd in de eerder beschreven drie verschillende condities .

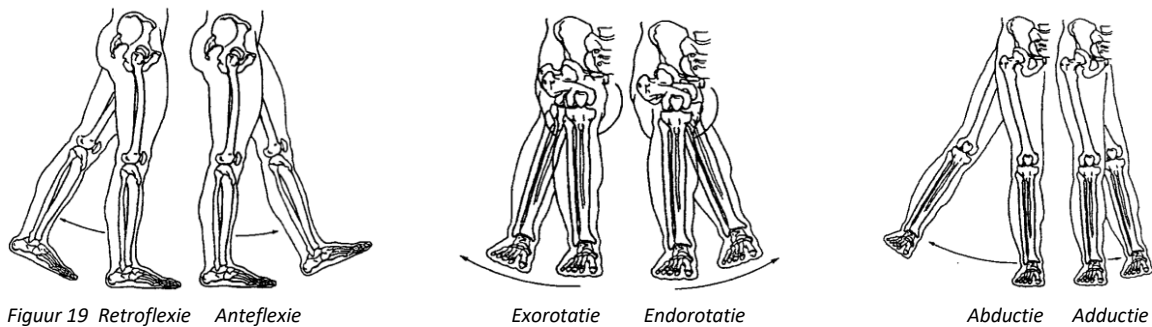
Data-analyse

Elke militair relevante handeling werd met behulp van OptiTrack met een vaste camera-opstelling vastgelegd met 120 frames per seconde. Naast een vaste camera-opstelling was er ook een vaste markerset, wat zorgde voor een betrouwbaar onderzoek. De optische motion capture software Motive body zette de markerdata om in een skeletmodel, welke werd geëxporteerd naar een Biovision Hierarchy Animation (.bvh) bestand. Door het gebruik van de rugzak waren een klein aantal markers slecht tot niet zichtbaar. Om dit te beperken is de heupband verwijderd zodat slechts vier markers wegvielen, waardoor Motive body nog in staat was het skeletmodel te vormen. Vanwege het gebruik van de militaire schoenen konden de markers niet direct op de botpunten van de voet en enkel geplaatst worden, daarom werden deze markers aan de buitenkant van de schoen aangebracht. Met behulp van het programma bvhacker werd het bvh-bestand geanalyseerd en werd bepaald bij welk framenummer de handeling begon dan wel eindigde. Indien nodig werd het bestand gespiegeld zodat de handeling bij elke proefpersoon met hetzelfde been uitgevoerd werd. Vervolgens werd het bestand ingeladen in MATLAB R2018b (The MathWorks Inc., Natick, Massachusetts) en afgesneden op de juiste framenummers zodat het bestand uitsluitend de handeling omvatte. Deze bestanden werden per handeling gebundeld in een dataset van vijf proefpersonen met ieder drie condities (0kg, 15kg, 30kg). In MATLAB werden deze datasets ingelezen en voor elke proefpersoon werd de ROM van de heup, knie en enkel bepaald. Deze ROM werd vertaald in gewrichtshoeken volgens Euler, met verticale en horizontale assen als neutrale middenstand (Figuur 18). Alle hoeken werden als positief benaderd, omdat ze allen in een afzonderlijke richting plaatsvonden.

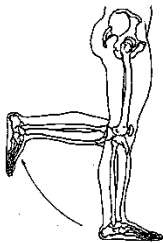


Figuur 18
Gewrichtshoeken

In de heup werden de bewegingen omschreven in zes richtingen (Figuur 19).

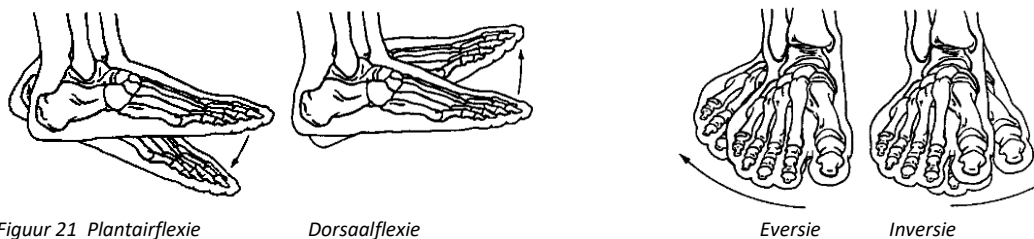


In de knie werden de bewegingen omschreven als flexie en extensie, waarbij met extensie in flexierichting werd aangegeven in hoeverre er gestrekt wordt (Figuur 20).



Figuur 20 Flexie

In de enkel werden de bewegingen omschreven als plantairflexie, dorsaalflexie, inversie en eversie (Figuur 21). De bewegingen in de enkel waren niet zuiver en een benadering van de daadwerkelijke bewegingen welke in werkelijkheid om een compromis-as plaatsvinden. De bewegingen in deze studie zijn gemaakt rondom de assen zoals Euler deze gedefinieerd heeft. Dit is relevant voor het interpreteren van de gewrichtshoeken.



Vanwege het Gimbal Lock principe ontstaan er problemen in het analyseren van hoeken wanneer de tweede geanalyseerde as de 90° bereikt, omdat er dan twee assen in dezelfde richting staan, waardoor niet meer duidelijk is om welke as er bewogen wordt. Om dit probleem te verhelpen werd de decompositievolgorde van de bvh-bestanden gewijzigd van xyz naar zxy, zoals dit in de anatomie gebruikelijk is. Hierdoor is er een andere as de vaste as en is dit probleem opgelost.

De bovenste bovengrens werd bepaald, om uitschieters te kunnen excluseren. De bovenste bovengrens is gebaseerd op de grootste maximale hoekuitslagen uit Tabel 1 (p.9). Van deze hoekuitslag werd een marge genomen van 20%, omdat in deze studie schoenen gedragen zijn tijdens de metingen. Dit in tegenstelling tot voorgaande onderzoeken waarbij gemeten werd zonder schoenen. Het dragen van zware schoenen heeft een grote invloed op het beweegpatroon. Ook de onderste bovengrens is bepaald, deze is gebaseerd op de kleinste maximale hoekuitslagen volgens Tabel 1 en deze onderste bovengrens laat zien dat alle

verkregen gewrichtshoeken die onder deze grens vallen volgens alle voorgaande onderzoeken mogelijk moeten zijn. De bovengrenzen zijn te vinden in Tabel 3.

Tabel 3 Bovengrenzen voor elke bewegingsrichting

	Onderste bovengrens	Bovenste bovengrens
Bewegingsrichting		
Heup		
Retroflexie	9,4	33,6
Anteflexie	113	160,6
Exorotatie	33,6	54
Endorotatie	32,6	54
Abductie	38,8	57,6
Adductie	25,6	37,2
Knie		
Flexie	134	172,6
Extensie	1,0	12
Enkel		
Plantairflexie	39,7	74,5
Dorsaalflexie	12,2	21,6
Eversie	18	33,1
Inversie	27,7	343,4

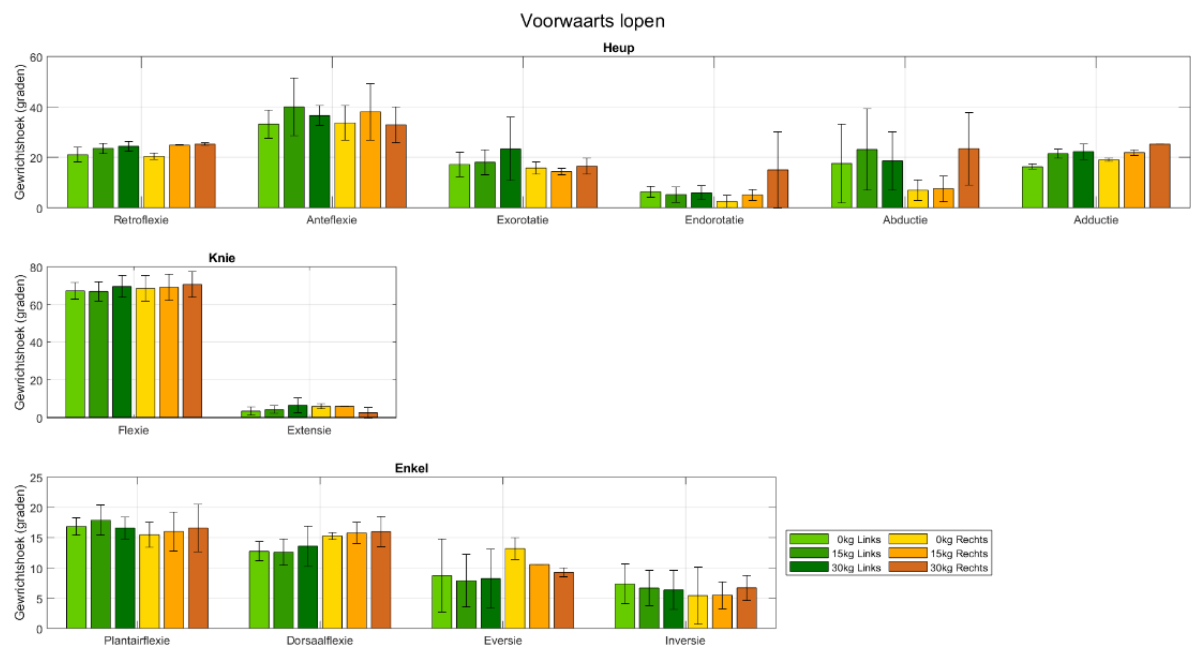
Van de ROM werd per militair relevante handeling voor elke bewegingsrichting de maximale gewrichtshoek bepaald. Wanneer deze gevonden gewrichtshoek boven de bovenste bovengrens kwam, werd de meting in de desbetreffende bewegingsrichting gezien als een foute meting en werd de meting in deze bewegingsrichting geëxcludeerd.

Binnen elke dataset werd per conditie de gemiddelde maximale gewrichtshoek (in graden) met bijbehorende standaarddeviatie berekend en deze werden weergegeven in een staafdiagram met errorbar, waarbij het linker- en rechterbeen los van elkaar weergegeven werden.

Resultaten

De ROM is gemeten gedurende het uitvoeren van dertien militair relevante handelingen door vijf proefpersonen met ieder drie condities (0kg, 15kg en 30kg). Uit elke conditie kwamen hoekuitslagen in twaalf verschillende bewegingsrichtingen voor beide benen afzonderlijk, wat een totaal maakt van 4680 hoekuitslagen. Van deze 4680 hoekuitslagen zijn er in totaal 4528 geanalyseerd. Er werden in MATLAB 152 hoekuitslagen uitgesloten omdat deze boven de bovenste bovengrens (Tabel 3) vielen. Dit maakt met een totaal van 152 geëxcludeerde hoekuitslagen een gemiddelde (SD) van 11,7 (9,6) uitbuiters per handeling, wat betekent dat er gemiddeld per handeling 348,3 hoekuitslagen zijn gebruikt. Dat komt neer op een gemiddelde van 4,9 proefpersonen.

Deze data leverde per handeling voor elke bewegingsrichting een maximale hoekuitslag op (Figuur 22). Een dergelijk figuur werd gemaakt voor alle militair relevante handelingen (Bijlage 2) en zijn samengevat in tabel 3. De gegeven hoekuitslag in tabel 3 is grootste hoekuitslag van van alle proefpersonen over alle condities, omdat de Exobuddy deze extremen aan moet kunnen.

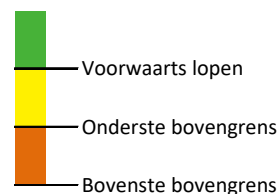


Figuur 22 Voorwaarts lopen: Maximale hoekuitslag voor elke bewegingsrichting in drie verschillende condities voor beide benen afzonderlijk

Tabel 4 Maximale hoekuitslagen van militair relevante handelingen

	Heup					Knie			Enkel				
	Retroflexie	Anteflexie	Exorotatie	Endorotatie	Abductie	Adductie	Flexie	Extensie	Plantairflexie	Dorsaalflexie	Eversie	Inversie	
Voorwaarts lopen	25,3	40,1	23,3	15,0	23,4	25,2	70,6	6,5	17,9	16,0	13,2	7,4	
Achterwaarts lopen	14,9	36,7	23,4	10,6	16,0	27,1	59,3	8,3	18,6	19,5	9,7	9,1	
Staande schiethouding	7,7	47,9	23,8	3,6	23,7	14,6	50,3	7,6	17,3	16,2	7,0	19,4	
Op obstakel stappen	11,5	91,4	29,4	13,7	25,9	20,4	122,3	11,9	28,8	14,1	9,5	9,0	
Over greppel springen	15,1	72,0	24,8	15,2	30,7	17,7	103,1	9,3	27,1	23,7	9,2	18,1	
Sluitpas	7,3	27,7	34,9	9,0	22,3	27,6	44,0	9,1	21,3	13,2	10,9	21,8	
Van obstakel af stappen	14,6	48,9	18,9	14,7	28,4	17,8	137,2	9,0	29,0	28,1	10,5	8,0	
Kruispas	19,6	36,3	31,0	18,6	24,4	28,2	57,6	6,1	15,7	15,3	22,7	14,9	
Voorwaarts onder obstakel door	7,5	105,2	39,1	24,4	33,5	11,7	113,7	11,1	19,6	26,4	7,8	17,1	
Over obstakel stappen	18,4	90,2	37,5	13,4	28,9	32,7	145,7	7,6	24,2	18,7	11,3	15,6	
Zijwaarts onder obstakel door	11,1	116,4	37,3	33,2	46,1	19,1	100,0	10,0	29,4	24,2	16,9	28,0	
Knielende schiethouding	9,8	121,1	41,6	19,2	43,9	24,9	161,9	6,9	23,4	23,1	8,6	22,3	
Liggende schiethouding	27,1	132,1	50,5	34,1	49,7	25,5	159,2	5,9	33,1	27,6	14,5	30,7	

Om overzichtelijk te kunnen zien welke hoekuitslagen mogelijk zijn met de Exobuddy en welke niet zijn de hoekuitslagen geclassificeerd volgens Figuur 23. Tabel 5 is een weergave van de geclassificeerde hoekuitslagen van alle militair relevante handelingen. Voorwaarts lopen is een minimale vereiste van de Exobuddy, dus alle hoekuitslagen die kleiner waren dan de hoekuitslag van voorwaarts lopen zijn mogelijk met de Exobuddy en zijn daarom groen gekleurd. Wanneer de hoekuitslag groter was dan die van voorwaarts lopen, werd deze waarde vergeleken met voorgaande onderzoeken (Tabel 1). Wanneer de hoekuitslag kleiner was dan de onderste bovengrens kreeg deze een gele kleur en wanneer de hoekuitslag van de handeling tussen de onderste en bovenste bovengrens viel kreeg deze een oranje kleur.



Figuur 23 Kleurspecificaties

Tabel 5 Geclassificeerde hoekuitslagen van militair relevante handelingen

	Heup					Knie			Enkel				
	Retroflexie	Anteflexie	Exorotatie	Endorotatie	Abductie	Adductie	Flexie	Extensie	Plantairflexie	Dorsaalflexie	Eversie	Inversie	
Voorwaarts lopen	25,3	40,1	23,3	15,0	23,4	25,2	70,6	6,5	17,9	16,0	13,2	7,4	
Achterwaarts lopen	14,9	36,7	23,4	10,6	16,0	27,1	59,3	8,3	18,6	19,5	9,7	9,1	
Staande schiethouding	7,7	47,9	23,8	3,6	23,7	14,6	50,3	7,6	17,3	16,2	7,0	19,4	
Op obstakel stappen	11,5	91,4	29,4	13,7	25,9	20,4	122,3	11,9	28,8	14,1	9,5	9,0	
Over greppel springen	15,1	72,0	24,8	15,2	30,7	17,7	103,1	9,3	27,1	23,7	9,2	18,1	
Sluitpas	7,3	27,7	34,9	9,0	22,3	27,6	44,0	9,1	21,3	13,2	10,9	21,8	
Van obstakel af stappen	14,6	48,9	18,9	14,7	28,4	17,8	137,2	9,0	29,0	28,1	10,5	8,0	
Kruispas	19,6	36,3	31,0	18,6	24,4	28,2	57,6	6,1	15,7	15,3	22,7	14,9	
Voorwaarts onder obstakel door	7,5	105,2	39,1	24,4	33,5	11,7	113,7	11,1	19,6	26,4	7,8	17,1	
Over obstakel stappen	18,4	90,2	37,5	13,4	28,9	32,7	145,7	7,6	24,2	18,7	11,3	15,6	
Zijwaarts onder obstakel door	11,1	116,4	37,3	33,2	46,1	19,1	100,0	10,0	29,4	24,2	16,9	28,0	
Knielende schiethouding	9,8	121,1	41,6	19,2	43,9	24,9	161,9	6,9	23,4	23,1	8,6	22,3	
Liggende schiethouding	27,1	132,1	50,5	34,1	49,7	25,5	159,2	5,9	33,1	27,6	14,5	30,7	

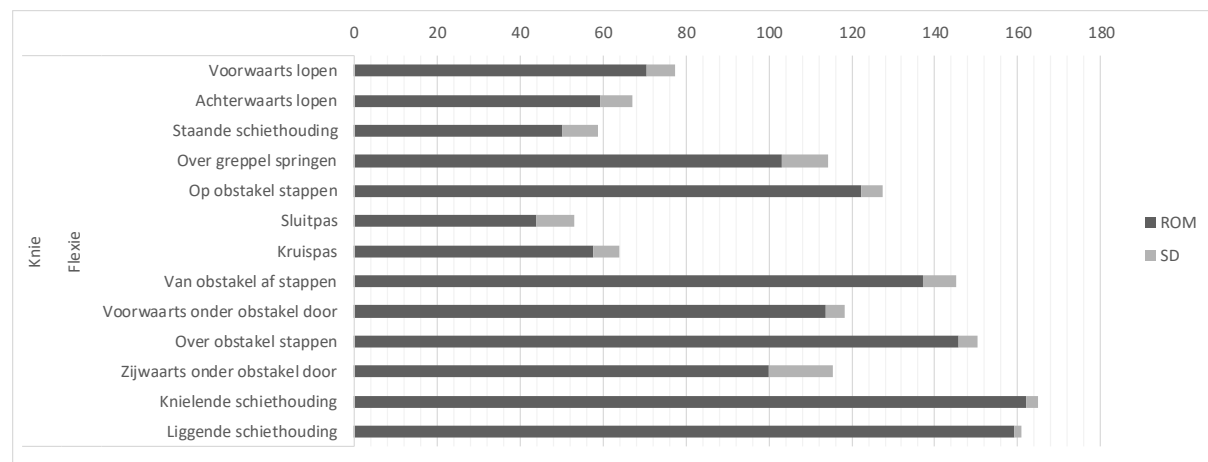
De militair relevante handelingen zijn met behulp van de classificering gerangschikt. Bovenin de tabel staat de minimale vereiste voorwaarts lopen en verder naar onder de handelingen die steeds grotere hoekuitslagen vereisen.

In Tabel 6 worden de minimale en maximale hoekuitslagen per bewegingsrichting die nodig zijn om te functioneren met de Exobuddy weergegeven en weggezet tegenover de bovenste bovengrens. De minimale hoekuitslag is de gewrichtshoek die nodig is om voorwaarts te kunnen lopen en de maximale hoekuitslag is de gewrichtshoek die nodig is om alle militair relevante bewegingen toe te laten.

Tabel 6 Minimale en maximale hoekuitslagen per bewegingsrichting vergeleken met de bovenste bovengrens

Bewegingsrichting	Minimale hoekuitslag:	Maximale hoekuitslag:	Bovenste bovengrens
	Voorwaarts lopen	Militair relevante handelingen	
Heup			
Retroflexie	25,3	27,1	33,6
Anteflexie	40,1	132,1	160,6
Exorotatie	23,3	50,5	54
Endorotatie	15,0	34,1	54
Abductie	23,4	49,7	57,6
Adductie	25,2	28,2	37,2
Knie			
Flexie	70,6	161,9	172,6
Extensie	6,5	5,9	12
Enkel			
Plantairflexie	17,9	33,1	74,5
Dorsaalflexie	16,0	28,1	21,6
Eversie	13,2	22,7	33,1
Inversie	7,4	30,7	343,4

Om een goed overzicht te geven welke handeling mogelijk is in elke bewegingsrichting is hiervan voor elke bewegingsrichting een overzicht gemaakt zoals te zien is in Figuur 24. Deze figuren zijn te vinden in Bijlage 3.



Figuur 24 Vergelijking van benodigde knieflexie bij alle militair relevante handelingen

Discussie

De militair relevante handelingen zijn gemeten met het valide meetsysteem OptiTrack en de juistheid van de handelingen is gewaarborgd door de aanwezigheid van een militair.

Bij het analyseren van de resultaten werden hoekuitslagen groter dan mogelijk volgens voorgaande onderzoeken (bovenste bovengrens) uitgesloten. Er werden 152 hoekuitslagen uitgesloten.

Doordat er een andere meetmethode is gebruikt dan bij voorgaande onderzoeken, zijn de resultaten niet compleet vergelijkbaar. In deze studie is gemeten met een 3d-meetsysteem, terwijl in andere studies gemeten is met een universele goniometer. Daarnaast zijn de bewegingen in deze studie uitgevoerd met een bepakking tot 30 kg, wat ervoor zorgt dat er met grotere kracht een passieve handeling uitgevoerd werd. Ook door het gebruik van zware schoenen wordt het beweegpatroon beïnvloed. De verkregen hoekuitslagen zijn echter zeer bruikbaar, omdat de Exobuddy aan de schoen gemonteerd wordt. De maximale hoekuitslag voor flexie in de knie is dus niet de daadwerkelijke kniehoek, maar wel de hoek die de Exobuddy moet kunnen maken bij deze handeling.

Het verschil in de verhouding tussen plantairflexie en dorsaalflexie is te verklaren door het gebruik van de militaire schoenen. De schoenen hebben een hoge hak, waardoor de enkel in een andere hoek staat gedurende een beweging dan wanneer deze zonder schoenen zou worden uitgevoerd. Daarnaast betreft deze studie geen zuivere bewegingen rondom de compromis-as, waardoor de waardes enigszins kunnen afwijken van voorgaande onderzoeken waarbij dit wel het geval was. De totale bewegingsuitslag van maximale plantairflexie tot maximale dorsaalflexie valt binnen de range zoals bevonden is in voorgaande onderzoeken. Ook is bij voorgaande onderzoeken niet nader verklaard welk punt als nul graden werd genomen, dus deze kan mogelijk afwijken van het punt dat in deze studie gebruikt is. Dit geldt voor alle bewegingsrichtingen.

Rennen is niet meegenomen in deze studie, omdat voorafgaand aan het onderzoek werd gedacht dat hiervoor ruimtegebrek was in het meetsysteem. Achteraf was het mogelijk geweest om deze handeling te meten met gebruik van een loopband. In een vervolgonderzoek kan dit nader onderzocht worden.

Uit de resultaten kan niet worden geconcludeerd dat er een significant verschil is tussen de verschillende condities. Om dit echter met meer zekerheid te kunnen vaststellen is onderzoek nodig met een grotere populatie en met uitsluitend militairen, omdat zij bekend zijn met deze bepakking wat mogelijk invloed heeft op het beweegpatroon. Daarnaast kan in vervolgonderzoek worden bekeken wat de hoekuitslagen zijn wanneer de militair volledige bepakking draagt.

Conclusie

Het doel van deze studie was om de Range of Motion (ROM) van de heup, knie en enkel te bepalen tijdens militair relevante handelingen, zodat een militair optimaal kan functioneren met de Exobuddy. Deze ROM is dynamisch bepaald gedurende de militair relevante handelingen, omdat het aannemen van een houding soms grotere bewegingsuitslagen vergt dan de houding zelf.

De militair relevante handelingen zijn met behulp van de classificering gerangschikt. Voorwaarts lopen is de minimale vereiste, maar ook achterwaarts lopen en de staande schiethouding kunnen zonder grote aanpassingen uitgevoerd worden. Zijwaarts onder een obstakel door, knielende schiethouding en liggende schiethouding vereisen de grootste aanpassingen in hoekuitslagen ten opzichte van voorwaarts lopen. Retroflexie en extensie vormen bij geen van de handelingen een probleem. De afwijking van de hoekuitslagen verschilt per handeling en per bewegingsrichting en voor de exacte waarden zal gekeken moeten worden naar de specifieke hoekuitslagen van deze beweging.

Omdat de Exobuddy slechts een ondersteunende kracht kan leveren tijdens het verplaatsen, is het noodzakelijk dat voorwaarts lopen mogelijk is met de Exobuddy.

Heup

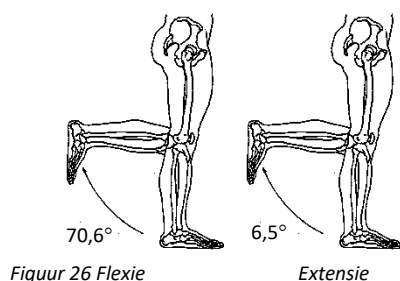
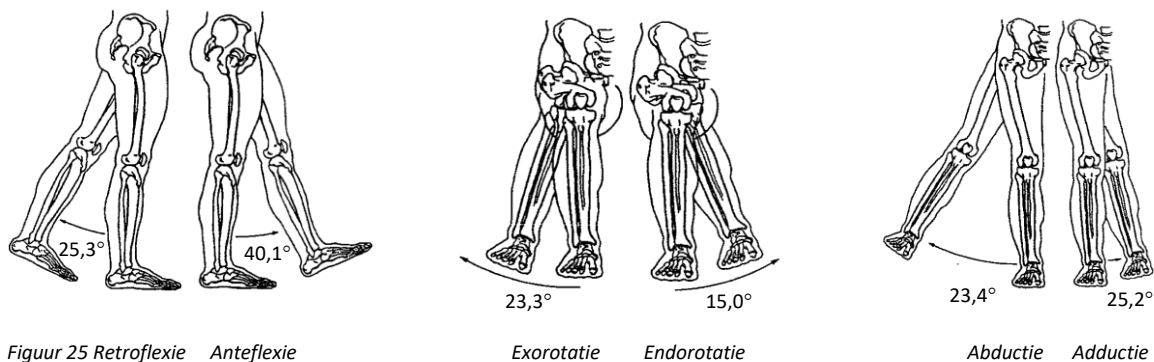
Om voorwaarts te kunnen lopen is er in de heup $25,3^\circ$ retroflexie en $40,1^\circ$ anteflexie nodig, $23,3^\circ$ exorotatie en $15,0^\circ$ endorotatie nodig en $23,4^\circ$ abductie en $25,2^\circ$ adductie nodig (Figuur 25).

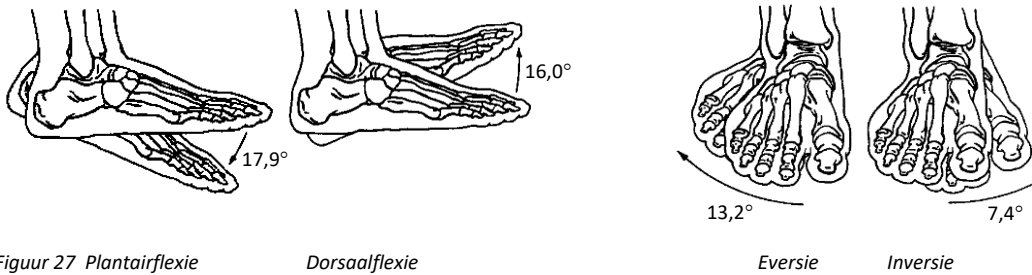
Knie

Om voorwaarts te kunnen lopen is er in de knie $70,6^\circ$ flexie en $6,5^\circ$ extensie nodig (Figuur 26).

Enkel

Om voorwaarts te kunnen lopen is er in de enkel $17,9^\circ$ plantairflexie en $16,0^\circ$ dorsaalflexie nodig en $13,2^\circ$ eversie en $7,4^\circ$ inversie nodig (Figuur 27).





Figuur 27 Plantairflexie

Dorsaalflexie

Eversie

Inversie

Met deze bewegingsuitslagen is het mogelijk om de Exobuddy te kunnen gebruiken tijdens voorwaarts lopen, maar om veilig te kunnen verplaatsen is het voor een militair noodzakelijk dat de Exobuddy de militair relevante handelingen toelaat, al dan niet ondersteunend.

Heup

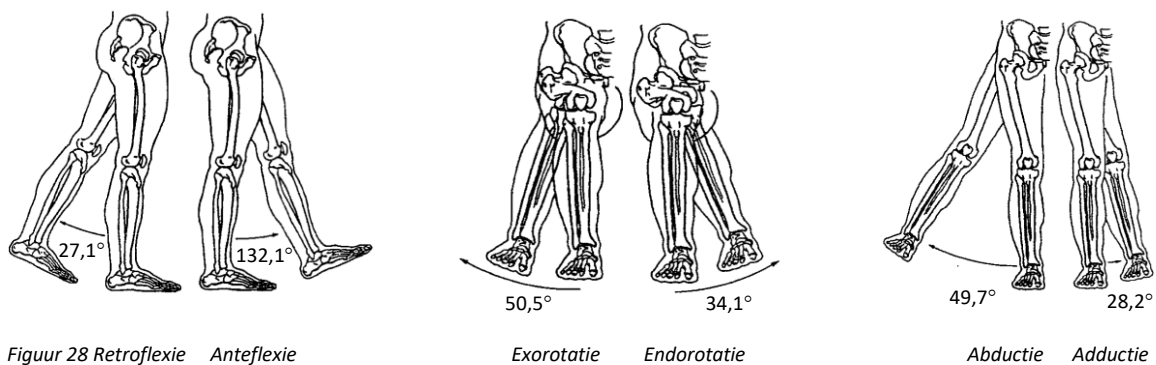
Om alle militair relevante handelingen toe te kunnen laten is er in de heup $27,1^\circ$ retroflexie en $132,1^\circ$ anteflexie nodig, $50,5^\circ$ exorotatie en $34,1^\circ$ endorotatie nodig en $49,7^\circ$ abductie en $28,2^\circ$ adductie nodig (Figuur 28).

Knie

Om alle militair relevante handelingen toe te kunnen laten is er in de knie $161,9^\circ$ flexie en $5,9^\circ$ extensie nodig (Figuur 29).

Enkel

Om alle militair relevante handelingen toe te kunnen laten is er in de enkel $33,1^\circ$ plantairflexie en $28,1^\circ$ dorsaalflexie nodig en $22,7^\circ$ eversie en $30,7^\circ$ inversie nodig (Figuur 30).



Figuur 28 Retroflexie

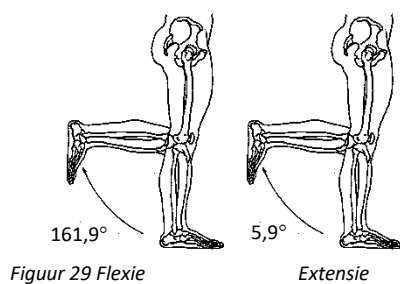
Anteflexie

Exorotatie

Endorotatie

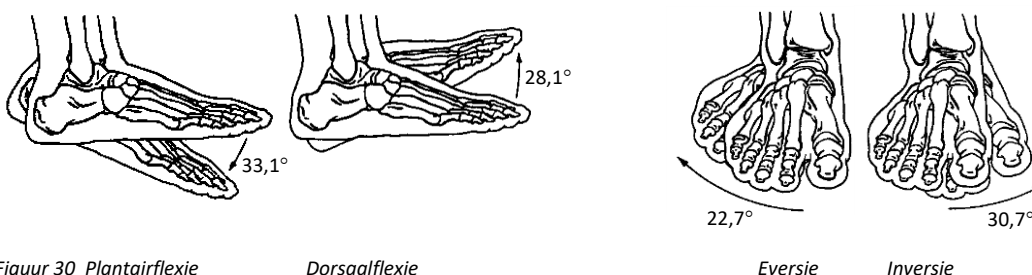
Abductie

Adductie



Figuur 29 Flexie

Extensie



Figuur 30 Plantairflexie

Dorsaalflexie

Eversie

Inversie

Literatuurlijst

- Boone, D. C., & Azen, S. P. (1979, juli). Normal Range of Motion of Joints in Male Subjects. Geraadpleegd van <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.872.5578&rep=rep1&type=pdf>
- InteSpring. (2018a, 19 november). Exobuddy Heavy-load. Light-weight. [Foto]. Geraadpleegd op 6 maart 2019, van <http://www.intespring.nl/>
- InteSpring. (2018b, 19 november). Passive Exoskeletons and Energy Systems. Geraadpleegd op 25 januari 2019, van <http://www.intespring.nl/>
- Ministerie van Defensie. (2016). *Handboek Militair LAND-E&T-02.1: De KL Militair*. Utrecht, Nederland: Ministerie van Defensie.
- Ministerie van Defensie. (2016). *Handboek Militair LAND-E&T-02.2: Optreden te velde*. Utrecht, Nederland: Ministerie van Defensie.
- Ministerie van Defensie. (2018, 20 november). Opleidings- en Trainingscentrum Manoeuvre. Geraadpleegd op 17 februari 2019, van <https://www.defensie.nl/organisatie/landmacht/eenheden/otco/opleidings-en-trainingscentrum-manoeuvre>
- NaturalPoint. (2017, 23 januari). Biomech (57). Geraadpleegd op 22 april 2019, van [https://v20.wiki.optitrack.com/index.php?title=Biomech_\(57\)](https://v20.wiki.optitrack.com/index.php?title=Biomech_(57))
- Roaas, A., & Andersson, G. B. J. (1982). Normal Range of Motion of the Hip, Knee and Ankle Joints in Male Subjects, 30–40 Years of Age. Geraadpleegd op 11 april 2019, van <https://www.tandfonline.com/action/cookieAbsent>
- Roach, K. E., & Miles, T. P. (1991, 1 september). Normal Hip and Knee Active Range of Motion: The Relationship to Age. Geraadpleegd op 28 maart 2019, van <https://academic.oup.com/ptj/article-abstract/71/9/656/2728826>
- Souchie, J. M., Wang, C., Forsyth, A., Funk, S., Denny, M., Roach, K. E., . . . The Hemophilia Treatment Center Network. (2010, 4 augustus). Range of motion measurements: reference values and a database for comparison studies. Geraadpleegd op 11 april 2019, van <https://onlinelibrary.wiley.com/action/cookieAbsent>
- Webster, D. (2013). Kinect applications in elderly care and stroke rehabilitation and Kinect accuracy evaluation. Geraadpleegd 21 mei 2019, van <http://sfsu-dspace.calstate.edu:80/handle/10211.3/125952>

Bijlage 1. Handboek Militair

HM Land-ET-02.1 *p. II-5-1*

Het geweer C-7 / de karabijn C8



Figuur 5-1 Het geweer C-7

HM Land-ET-02.1 *p. II-5-57*

Schiethoudingen

- Algemeen
- De krachten, die door het afgaan van het schot in het wapen optreden zijn, in vergelijking met de massa van het wapen, zo groot dat zij gemakkelijk de juiste richting van het wapen verstoren. Om deze verstoring zoveel mogelijk tegen te gaan, moet de schutter de massa van het wapen met zijn eigen (zo stabiel mogelijk opgestelde) lichaam vergroten. Indien mogelijk moeten ondersteuning worden aangewend die de stabiliteit van het wapen vergroten.
- Een schiethouding moet zodanig zijn dat:
 - Het wapen zonder onnodige fysieke inspanning op natuurlijke wijze in de richting van het doel wijst.
 - De schutter zijn wapen zoveel mogelijk ondersteuning geeft.
 - De schutter zijn wapen gemakkelijk kan hanteren.
 - De schutter tijdens het vuren niet te snel vermoeid raakt.
 - Tijdens het richten het wapen zo stil mogelijk kan worden gehouden.
 - De terugstoot van het wapen door de aaneengesloten massa van wapen en schutter wordt opgevangen.
- Het juist afstellen van de schuifkolf:
 - Maak een hoek van 90° tussen de boven- en onderarm.
 - Plaats nu de kolf langs de onderarm in de holte tussen onderarm en bovenarm.
 - Verstel nu de kolf nu zodanig dat de pistoolgreep op de juiste wijze vast gehouden wordt en dat de trekkervinger op de juiste wijze om de trekker gehouden wordt.
 - Deze afstelling is in de meeste gevallen de beste afstelling bij de gangbare schiethoudingen.
 - Bij alternatieve schiethoudingen of een andere lichaamsbouw kan de schuifkolf door de schutter naar voorkeur afgesteld worden.

HM Land-ET-02.2 p.42

Draagwijze geweer en schietbereidheid

In het bevel geeft de commandant aan welke draagwijze bij aanvang van de opdracht van toepassing is. Gedurende de opdracht kan de draagwijze aangepast worden aan de dreiging/situatie.



*Figuur 43-1
Schietbereidheid laag.*



*Figuur 44-1
Schietbereidheid middel.*



*Figuur 45-1
Schietbereidheid hoog.*

Schietbereidheid laag (zie figuur 43-1)

U hebt twee mogelijkheden om uw wapen aan de tactische draagriem te dragen:

- Het wapen voor de borst dragen.
- Het wapen om de schouder hangen. Gebruik: Deze draagwijze wordt gebruikt als de vijandelijke dreiging laag is.

Uitvoering

- De tactische draagriem loopt over de linker schouder en onder de rechter oksel door.
- Het wapen wordt voor de borst gedragen, men kan nog steeds beide armen gebruiken voor werkzaamheden;
- Desgewenst kan de schutter de snelsluiting openen, waardoor de riem langer kan worden gemaakt;
- Wapen is geladen en staat op 'Safe';
- D.m.v. (Door middel van) deze draagwijze kan men snel overgaan naar een hogere schietbereidheid.

Schietbereidheid middel (zie figuur 44-1)

Gebruik: Deze draagwijze wordt het meest gebruikt bij verplaatsingen en patrouilles.

Uitvoering

- Tactische draagriem loopt over de linker schouder en onder de rechter oksel door.
- De tactische draagriem is dusdanig afgesteld zodat de kolf van het wapen contact heeft met de rechter schouder;
- De linkerhand omvat de handbeschermers waarbij de linker wijsvinger gestrekt naar voren wijst;
- Het wapen is geladen en staat op 'Safe', de rechter wijsvinger is gestrekt langs de trekkerbeugel;
- De loop wijst onder een hoek van ongeveer 45° naar beneden.

Schietbereidheid hoog (zie figuur 45-1)

Gebruik: Deze draagwijze wordt gebruikt als men direct vijand contact verwacht.

Uitvoering

- Tactische draagriem loopt over de rechter schouder en onder de linker oksel door.
- De tactische draagriem is dusdanig afgesteld zodat de kolf van het wapen contact heeft met de rechter schouder;
- De linkerhand omvat de handbeschermers waarbij de linker wijsvinger gestrekt naar voren wijst;
- Het wapen is geladen en staat op 'Safe' waarbij de rechter wijsvinger aan de trekker zit en de rechter duim bij de vuurregelaar;
- Er wordt waargenomen over de richtmiddelen voor een maximaal gezichtsveld.

HM Land-ET-02.1 p. II-5-63

- Staande schiethouding vrije hand
- Het aannemen.
 - Het wapen wordt in de draaghouding vastgehouden;
 - De voeten staan op heupbreedte uit elkaar onder een hoek van 45° t.o.v. de schootslijn;
 - De knieën zijn hierbij iets gebogen;
 - Het wapen wordt met de linkerhand om de handgreep met voorsteun en de rechterhand om de pistoolgreep, met de kolf in de schouder, richting doel gehouden.



Figuur 5-75 Staande schiethouding, bovenaanzicht

- De lichaamshouding.
 - Het bovenlichaam is rechtop en het lichaamsgewicht is gelijkmatig verdeeld over de beide benen;
 - De schouderlijn is horizontaal.
- De linkerarm.

De linkerarm ondersteunt het wapen waarbij:

 - De elleboog zoveel mogelijk onder het wapen is;
 - De hand de handgreep met voorsteun stevig omvat.

LET OP! Ter verhoging van de stabiliteit kan het wapen door de linkerhand ondersteund worden onder het patroonmagazijn. De linker elleboog wordt dan stevig op de heup en tegen de ribben geplaatst (zie figuur 5-76B).

- De rechterarm.

De rechterarm houdt het wapen in de schouder, waarbij:

 - De pols op natuurlijke wijze in het verlengde van de onderarm gestrekt is;
 - De hand de pistoolgreep omvat en de kolf in de schouder trekt;

- De kolfplaat in de kom van de schouder rust en er vanuit de schouder met dezelfde kracht een tegendruk wordt uitgeoefend;
 - De elleboog onder een ontspannen hoek naar beneden wijst.
- Het hoofd.
- De stand van het hoofd vloeit voort uit de totale houding en is nagenoeg rechtop waarbij de wang tegen de kolf ligt.



Figuur 5-76A Staande schiethouding



*Figuur 5-76B Staande schiethouding,
Vooraanzicht*

HM Land-ET-02.1 p. II-5-60

- Knielende schiethouding vrije hand
- Het aannemen.
 - De schutter staat onder een hoek van $\pm 45^\circ$ t.o.v. de schootslijn waarbij de linkerzijde van het lichaam globaal naar het doel wijst. De voeten staan op schouderbreedte uit elkaar.
 - Het wapen wordt met de linkerhand om de handgreep met voorsteun en de rechterhand om de pistoolgreep richting doel gehouden. De rechtervoet wordt ± 45 cm achterwaarts geplaatst. Vervolgens zakt hij zodanig door de knieën dat de linkervoet nagenoeg niet meer verplaatst hoeft te worden. De schutter gaat nu op de hiel van de rechtervoet zitten.
 - In deze houding dient de driehoek linkervoet-rechtervoet-rechterknie als stabiele basis (zie figuur B-5-71).
 - Deze driehoek moet zoveel mogelijk gelijkbenig zijn. Het lichaamsgewicht moet gelijkmatig over deze drie punten verdeeld zijn.
 - De linkerelleboog steunt op de linkerknie en de kolf wordt in de schouder geplaatst.



Figuur 5-71 Knielende schiethouding, bovenaanzicht

- De lichaamshouding.
Het bovenlichaam is enigszins voorovergebogen; de schouderlijn is horizontaal; de ruggengraat staat recht boven de rechterhiel.
- Het linkerbeen en de linkerarm.
Het linkerbeen en de -arm ondersteunen het wapen, waarbij:
 - De voet enigszins naar binnen gedraaid mag worden;
 - De elleboog voor of over de knie geplaatst is;
 - Het onderbeen verticaal onder het wapen staat;
 - De elleboog zich zo recht mogelijk onder het wapen bevindt;
 - De hand de handgreep met voorsteun stevig omvat.

– De rechterarm.

De rechterarm houdt het wapen in de schouder, waarbij:

- De pols op natuurlijke wijze in het verlengde van de onderarm gestrekt is;
- De hand de pistoolgreep omvat en de kolf in de schouder trekt;
- De kolfplaat in de kom van de schouder rust en er vanuit de schouder met dezelfde kracht een tegendruk wordt uitgeoefend;
- De elleboog onder een ontspannen hoek naar beneden wijst.

– Het hoofd.

De stand van het hoofd vloeit voort uit de totale houding en is nagenoeg rechtop; de wang ligt op en tegen de kolf.



Figuur 5- 72A Knielende schiethouding, rechterzijaanzicht



Figuur 5-72B Knielende schiethouding, vooraanzicht

HM Land-ET-02.1 p. II-5-57

- Liggende schiethouding vrije hand
- Het aannemen.

Plaats de rechtervoet vooruit en houd het geweer met de rechterhand aan de rechterhand aan de pistoolgreep vast (de wijsvinger blijft gestrekt langs de trekker tegen het patroonmagazijnhuis). Buig voorover en plaats de linkerhand zover mogelijk vooruit op de grond. Strek het rechterbeen naar achteren en plaats tegelijkertijd de rechterelleboog op de grond. Met de linkerhand wordt nu het wapen bij de handbeschermers of handgreep met voorsteun ondersteund. Laad het wapen.

- De lichaamshouding.
 - Het lichaam ligt onder een hoek van $\pm 20^\circ - 30^\circ$ op de schootslijn waarbij de schouderlijn t.o.v. de ruggengraat in een hoek van 90° staat.
 - De benen liggen gespreid naar achteren; de voeten liggen plat op de grond (zie figuur 5-68A).
 - Het rechterbeen mag iets opgetrokken worden om spanning van de rug- en buikspieren te verminderen en de borstkas meer ruimte te geven (zie figuur 5-68B).
 - Het gewicht van het bovenlichaam (en het wapen) rust voornamelijk op de linkerelleboog, de rechterelleboog is (ontspannen) bijgeplaatst.
- De linkerarm.

De linkerarm ondersteunt het wapen, waarbij:

 - De linkerhand de handgreep met voorsteun of de handbeschermers omvat.
 - De elleboog zo recht mogelijk onder het wapen zetten (zie figuur 5-68C).
 - Indien mogelijk de patroonmagazijn op of tegen de onderarm rust.
- De rechterarm.

De rechterarm houdt het wapen in de schouder, waarbij:

 - De pols op natuurlijke wijze in het verlengde van de onderarm gestrekt is.
 - De hand de pistoolgreep omvat en de kolf in de schouder trekt.
 - De kolfplaat tegen het sleutelbeen rust en waarbij vanuit de schouder met dezelfde kracht een tegendruk wordt uitgeoefend.
 - De elleboog op natuurlijke wijze het bovenlichaam in balans houdt.
- Het hoofd.

De stand van het hoofd vloeit voort uit de totale houding en is nagenoeg rechtop; de wang ligt op en tegen de kolf.



Figuur 5-68A Liggende schiethouding

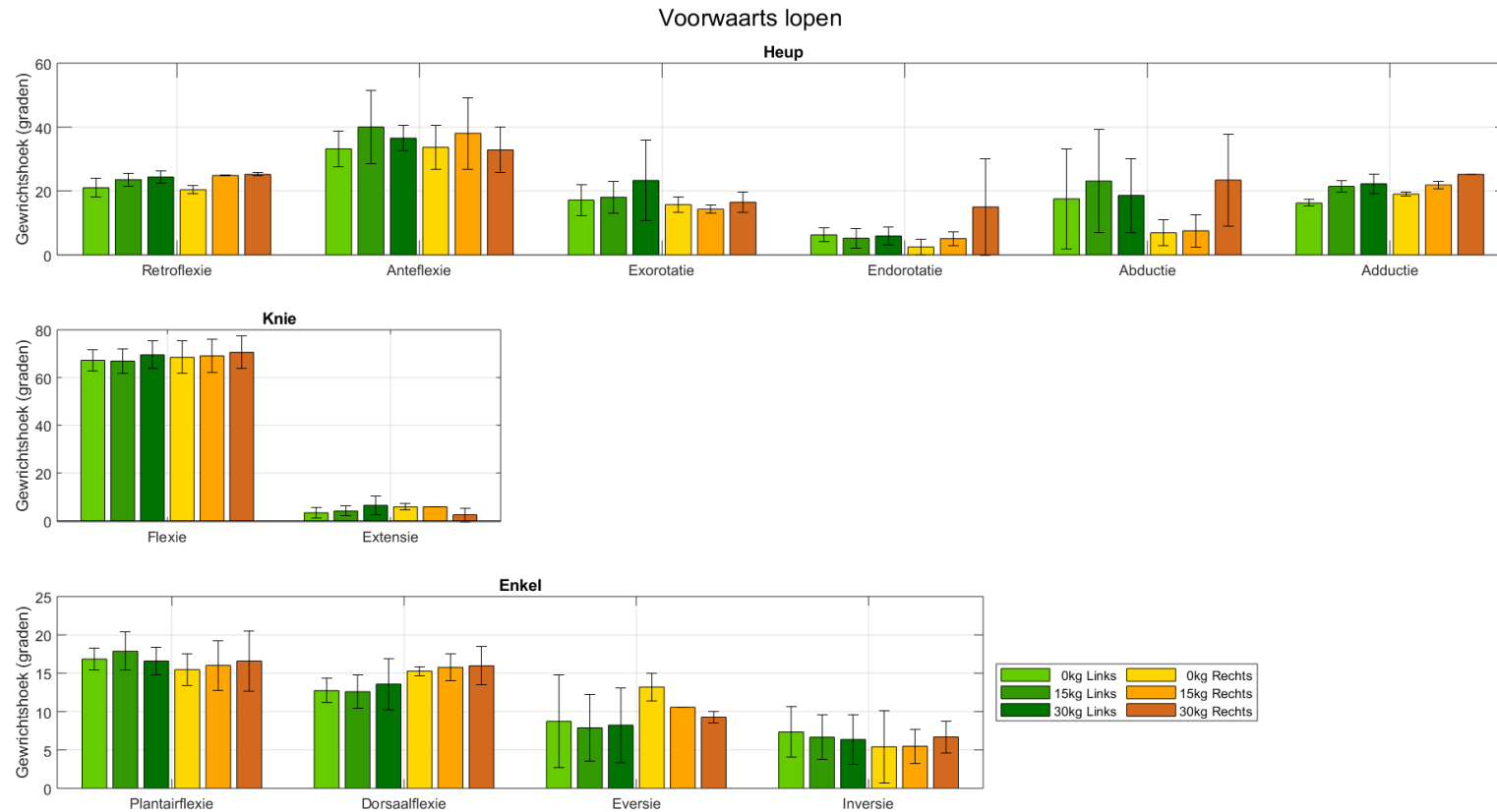


Figuur 5-68B Liggende schiethouding, rechterbeen iets opgetrokken

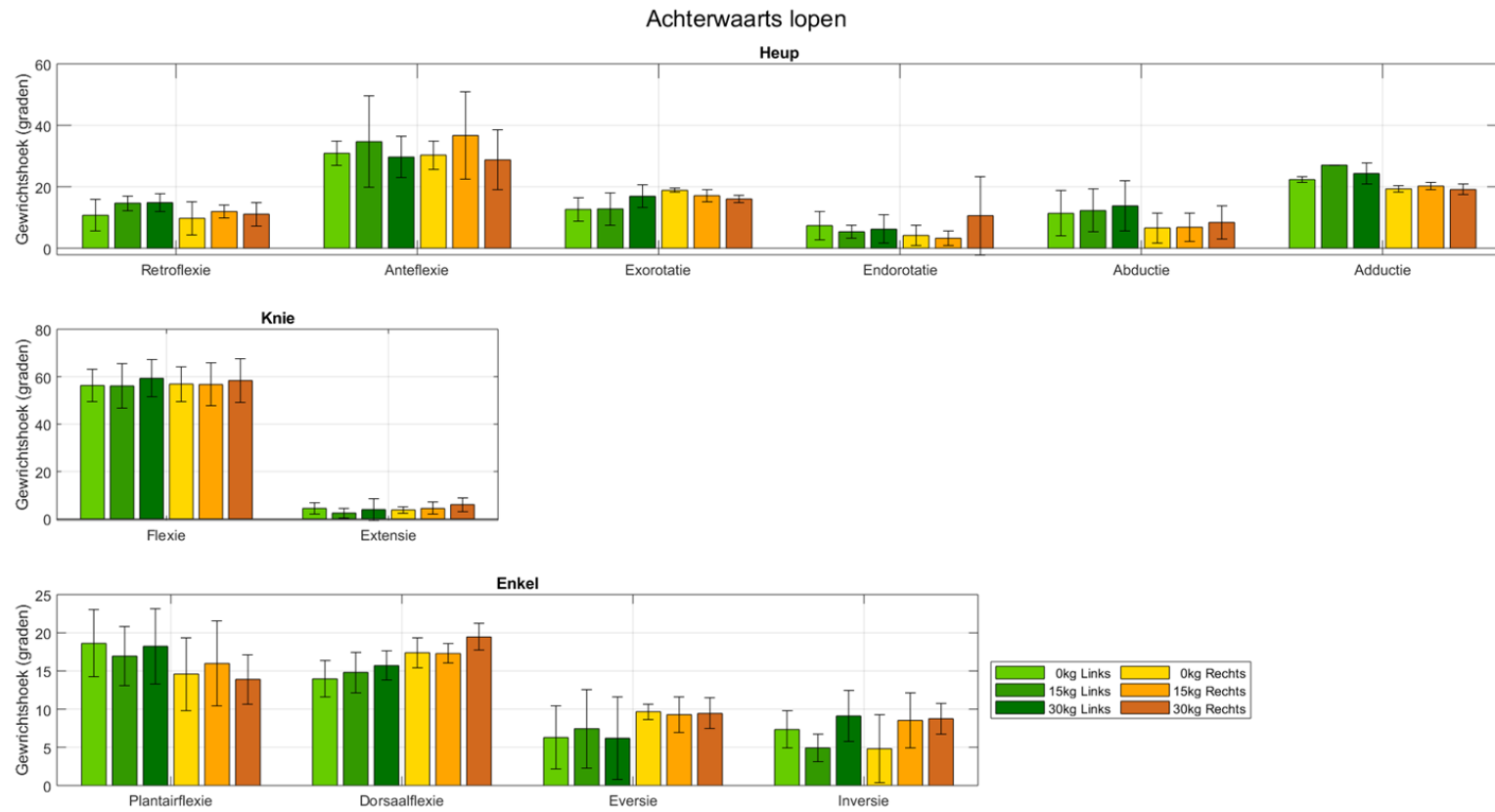


Figuur 5-68C Liggende schiethouding, vrije hand

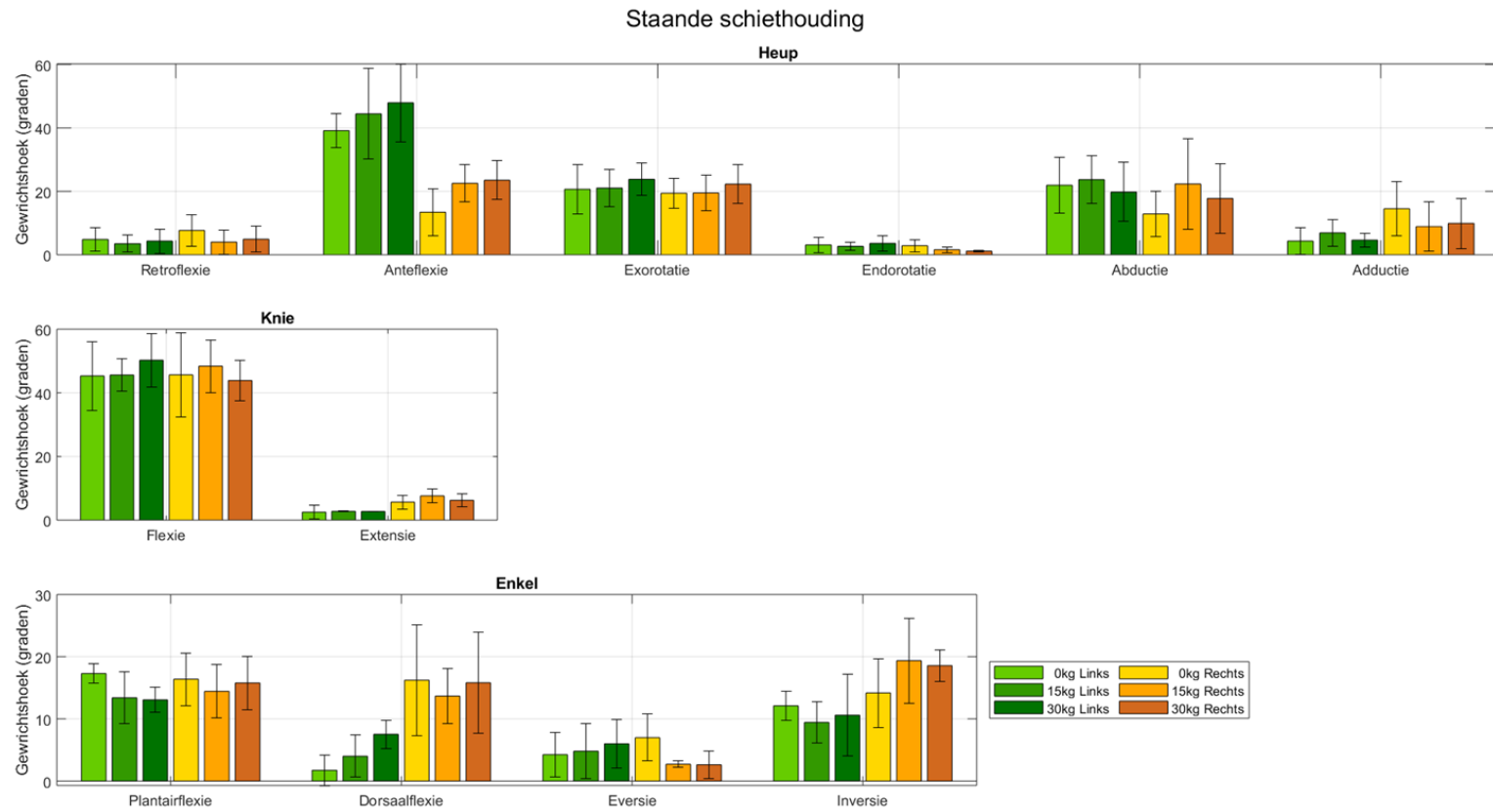
Bijlage 2. Maximale hoekuitslag per bewegingsrichting en conditie voor elke militair relevante handeling



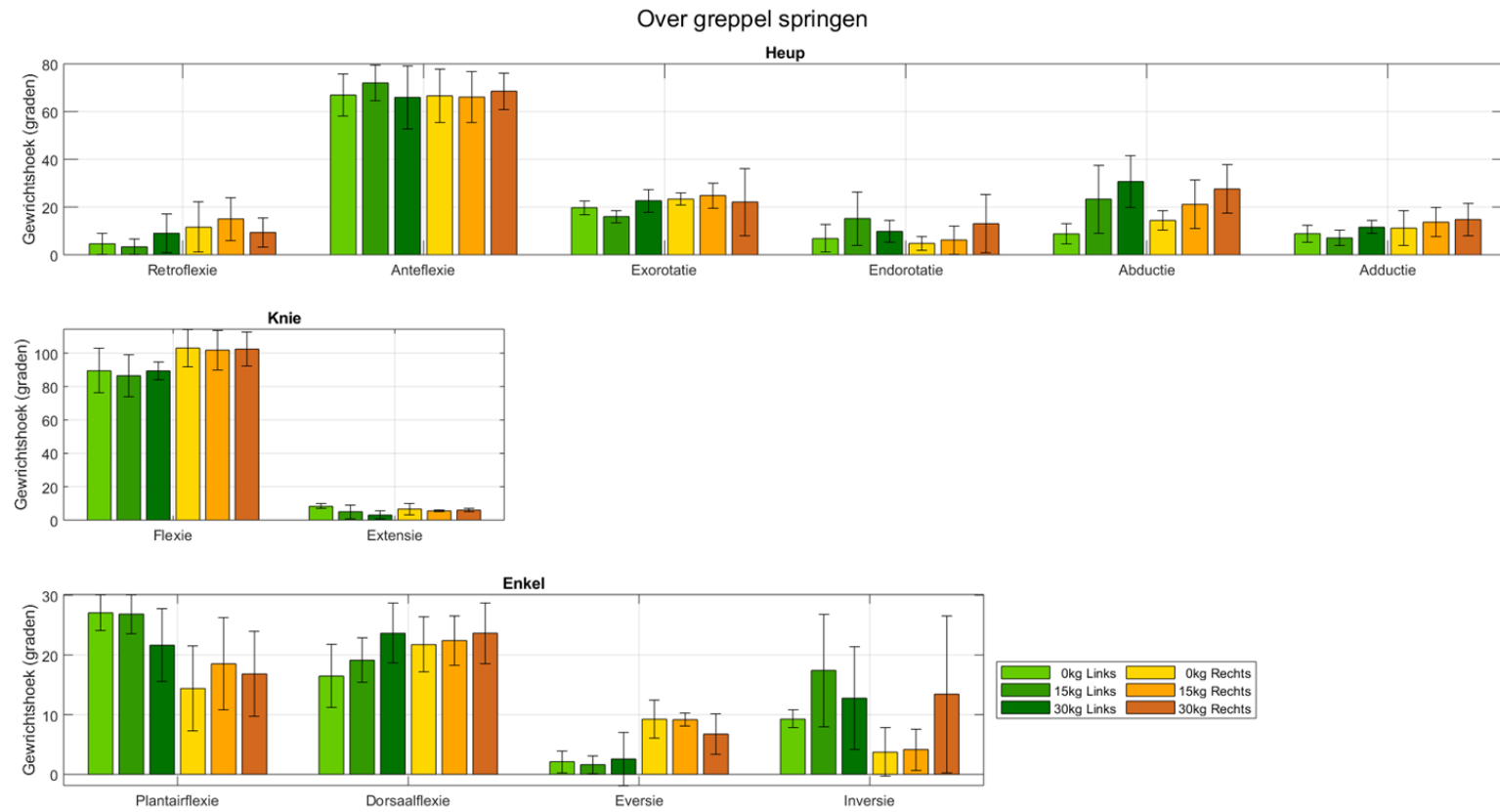
Figuur B 1 Hoekuitslagen van verschillende condities bij voorwaarts lopen



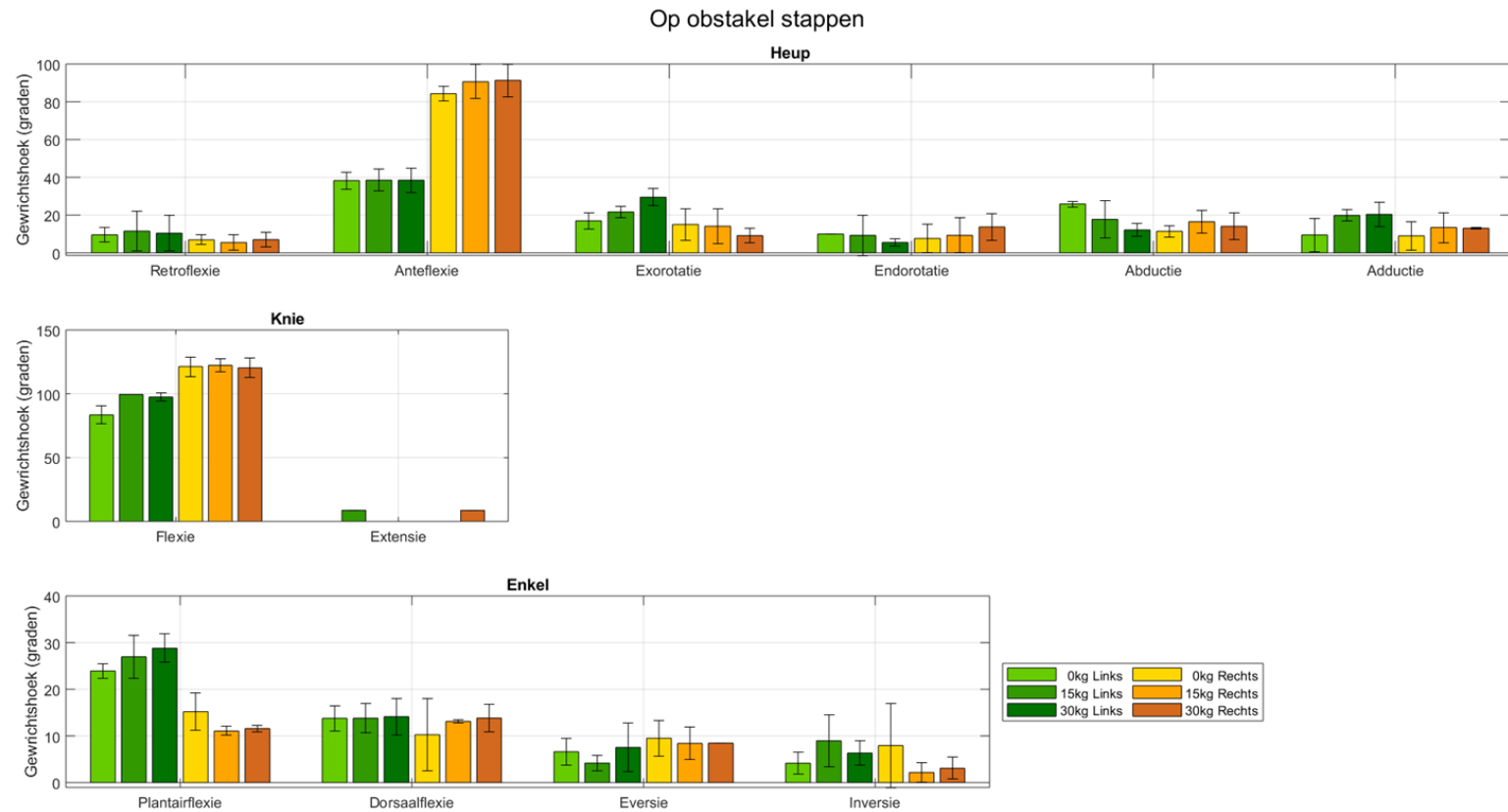
Figuur B 2 Hoekuitslagen van verschillende condities bij achterwaarts lopen



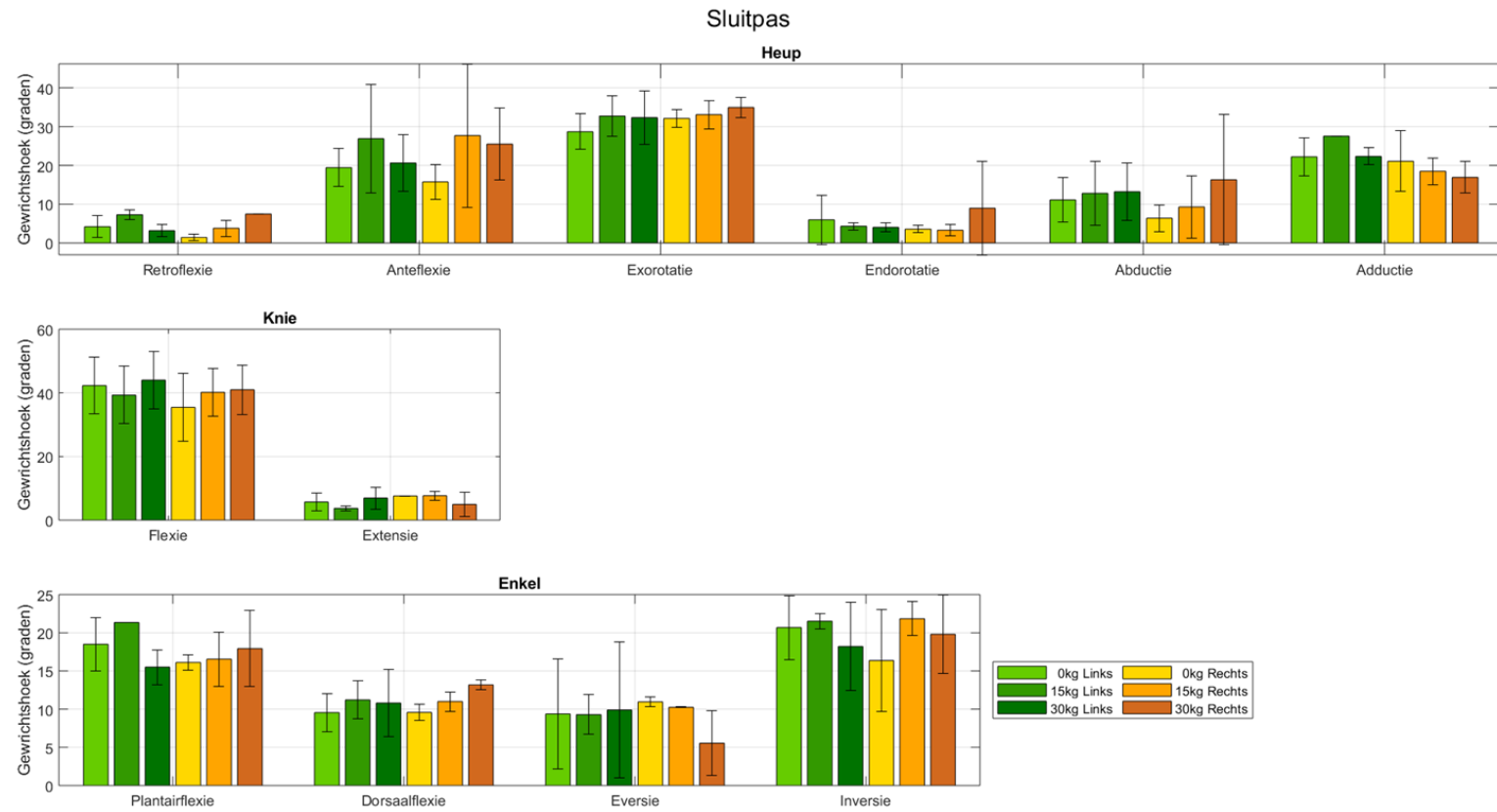
Figuur B 3 Hoekuitslagen van verschillende condities bij staande schiethouding



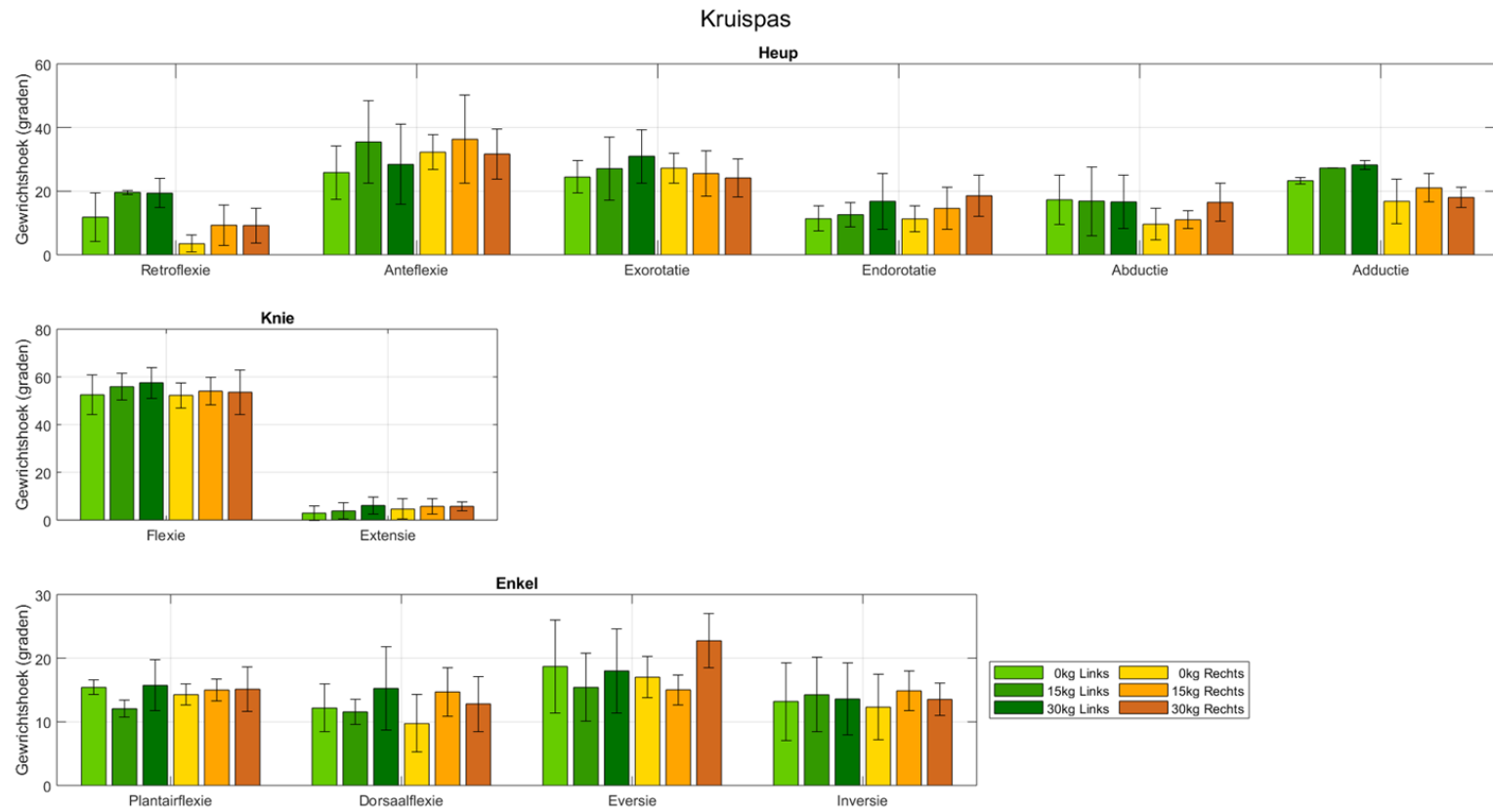
Figuur B 4 Hoekuitslagen van verschillende condities bij over greppel springen



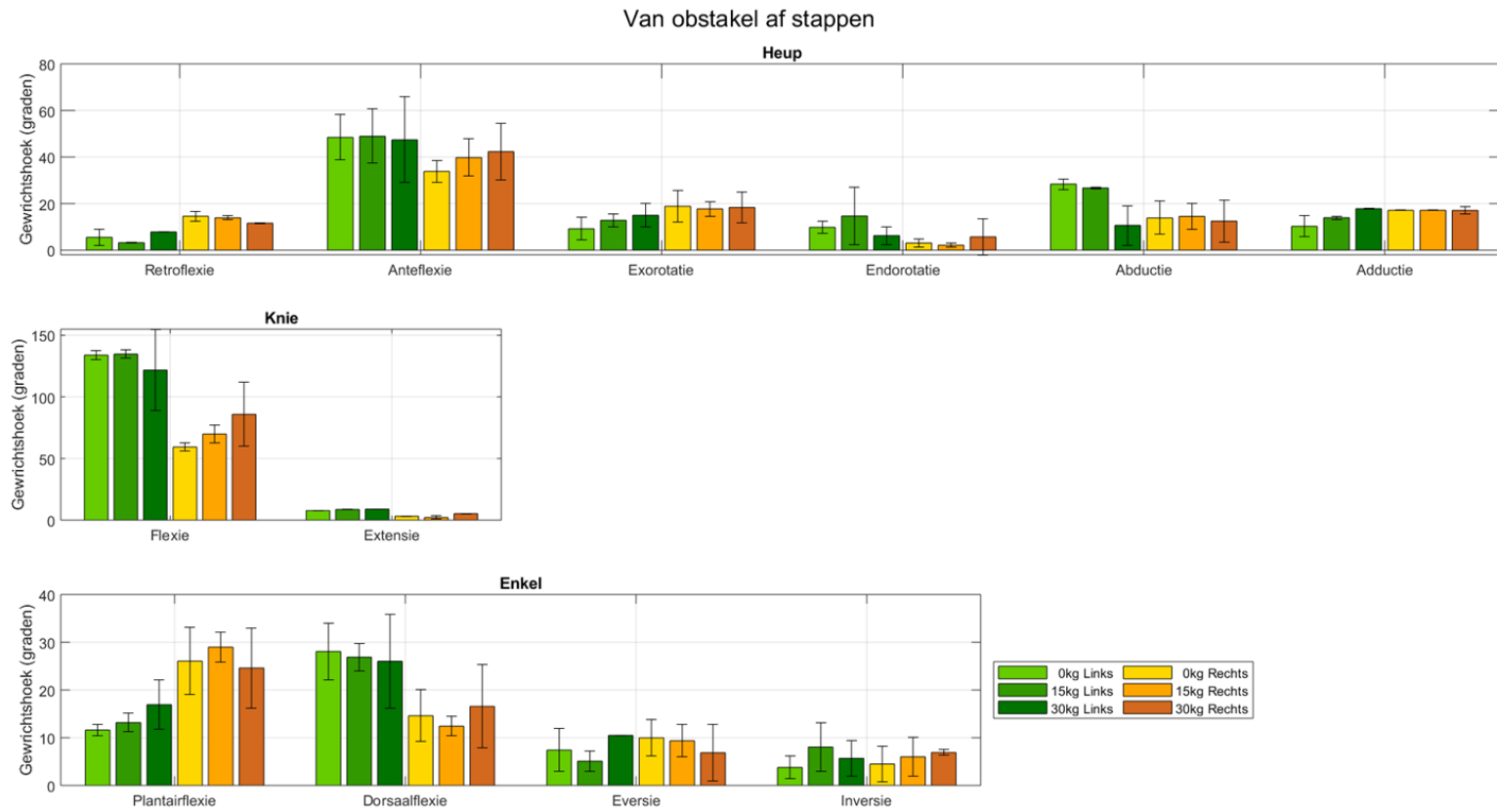
Figuur B 5 Hoekuitslagen van verschillende condities bij op obstakel stappen



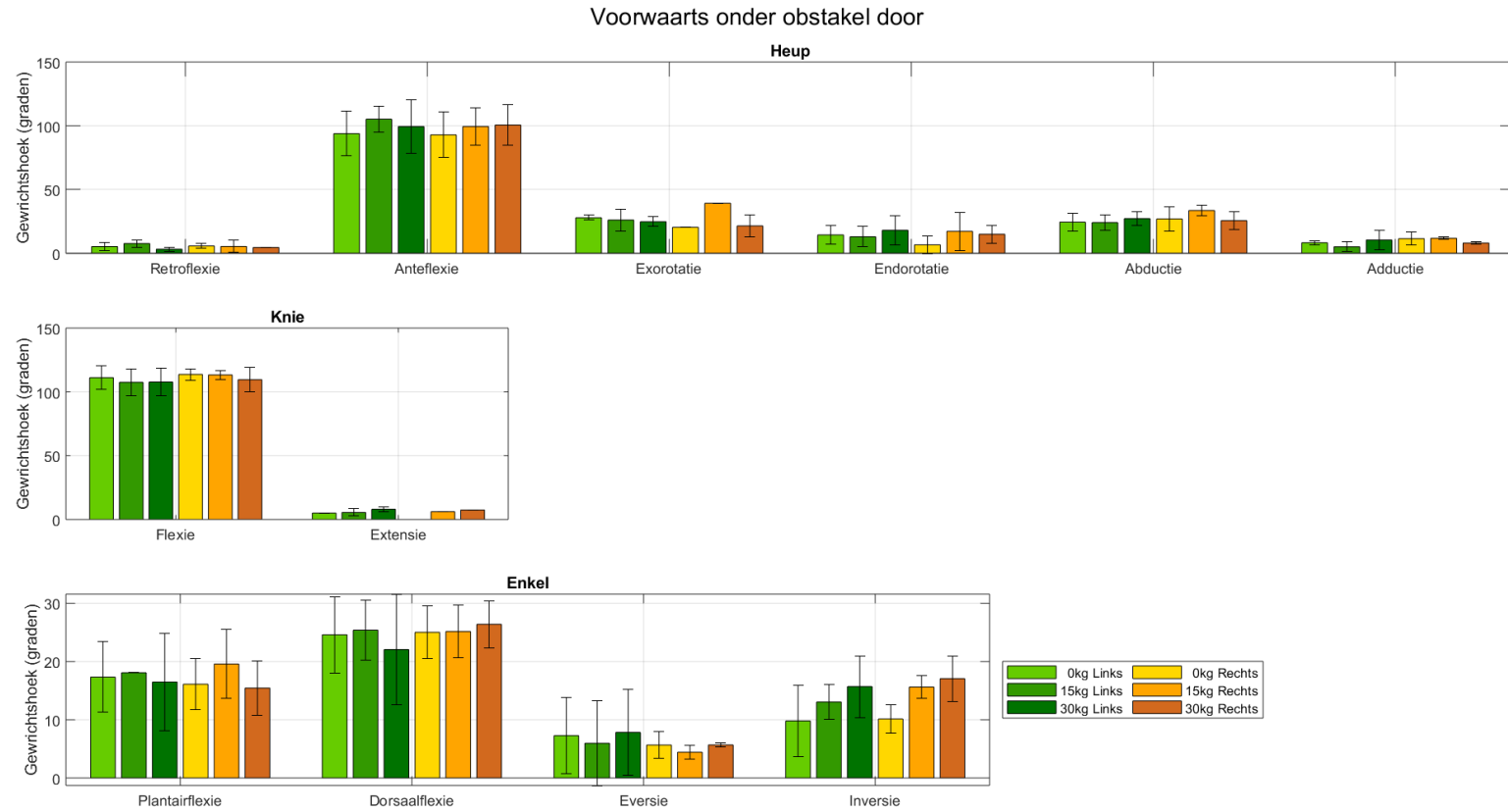
Figuur B 6 Hoekuitslagen van verschillende condities bij sluitpas



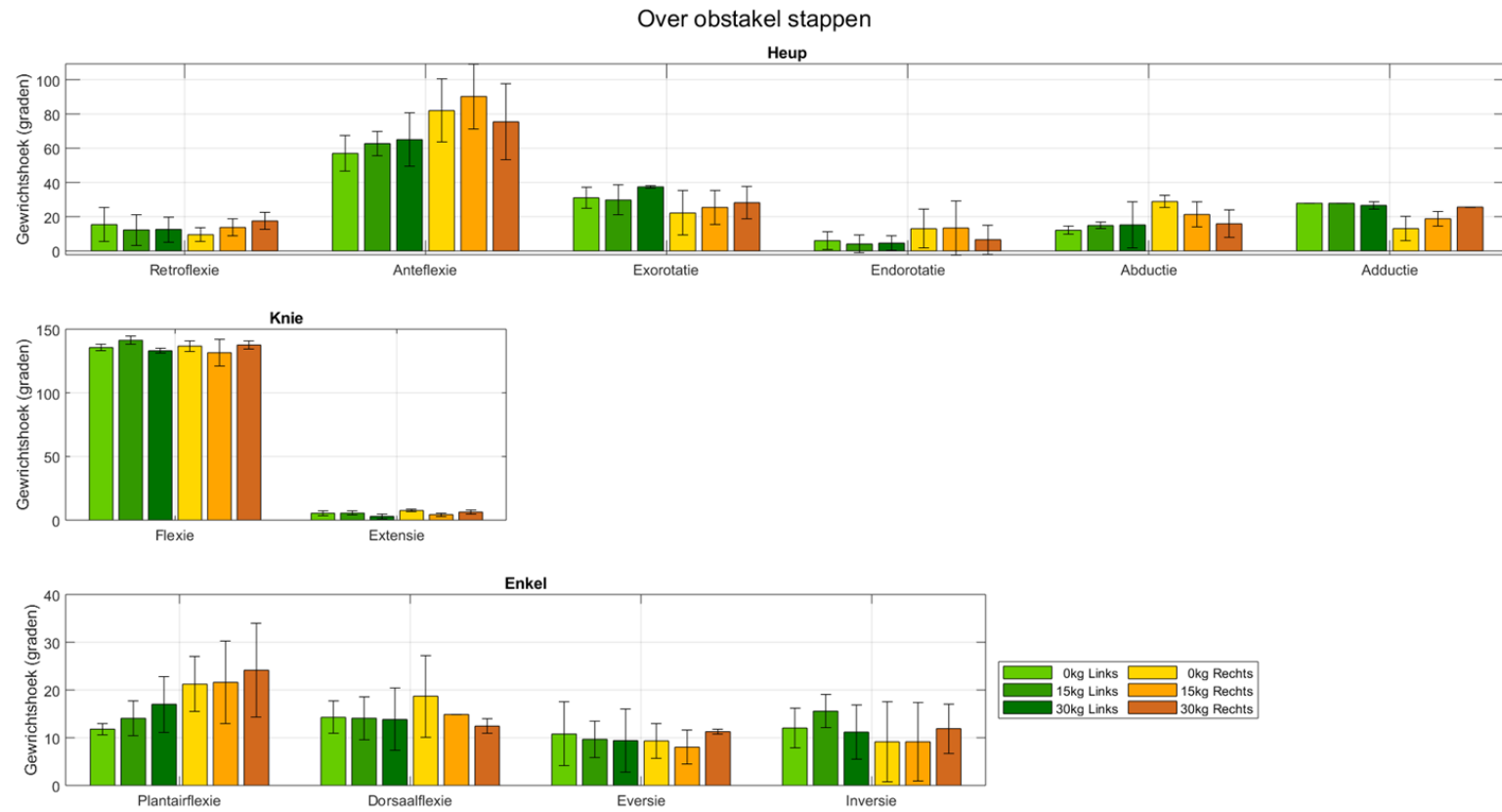
Figuur B 7 Hoekuitslagen van verschillende condities bij kruispass



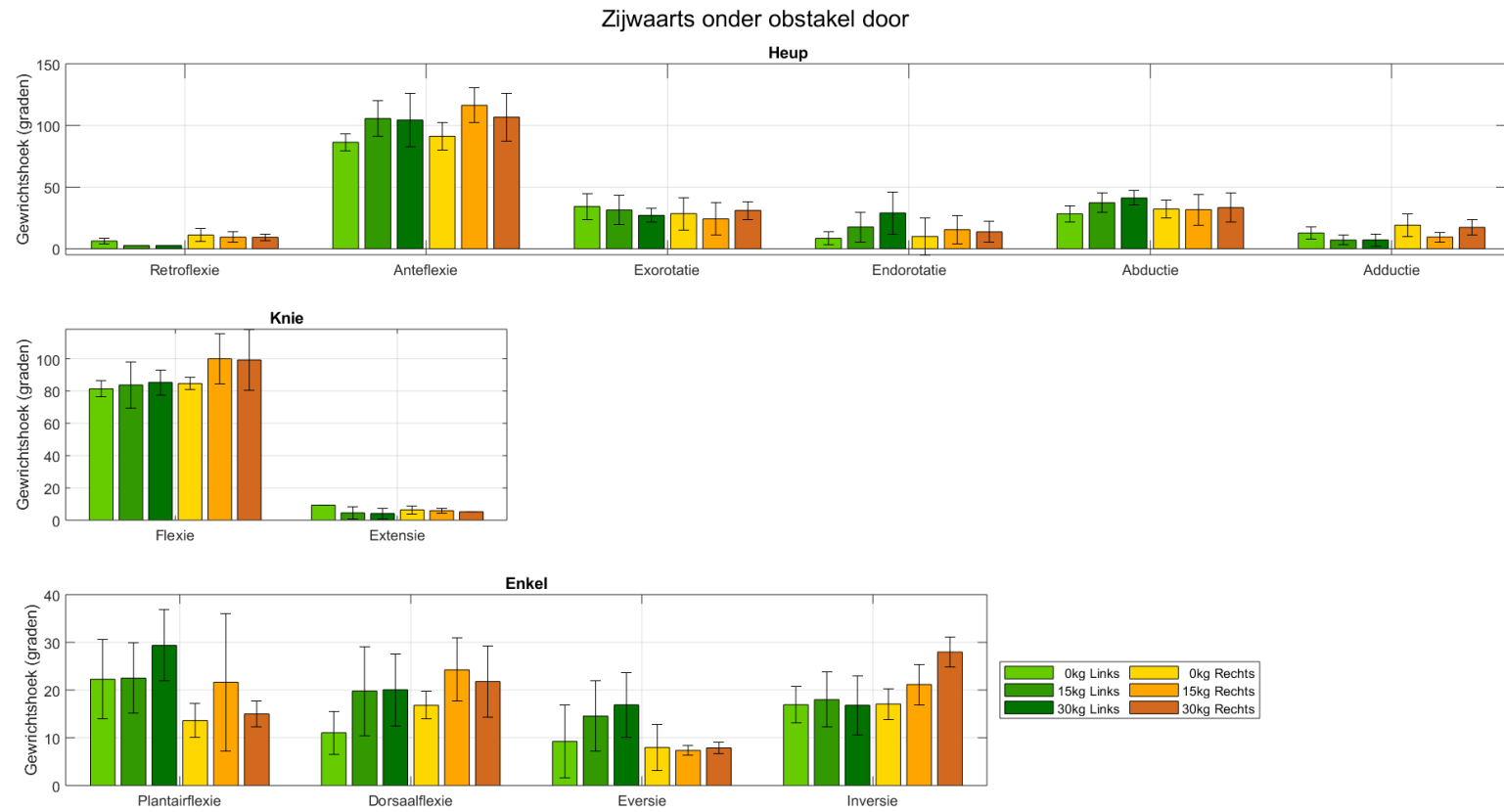
Figuur B 8 Hoekuitslagen van verschillende condities bij van obstakel af stappen



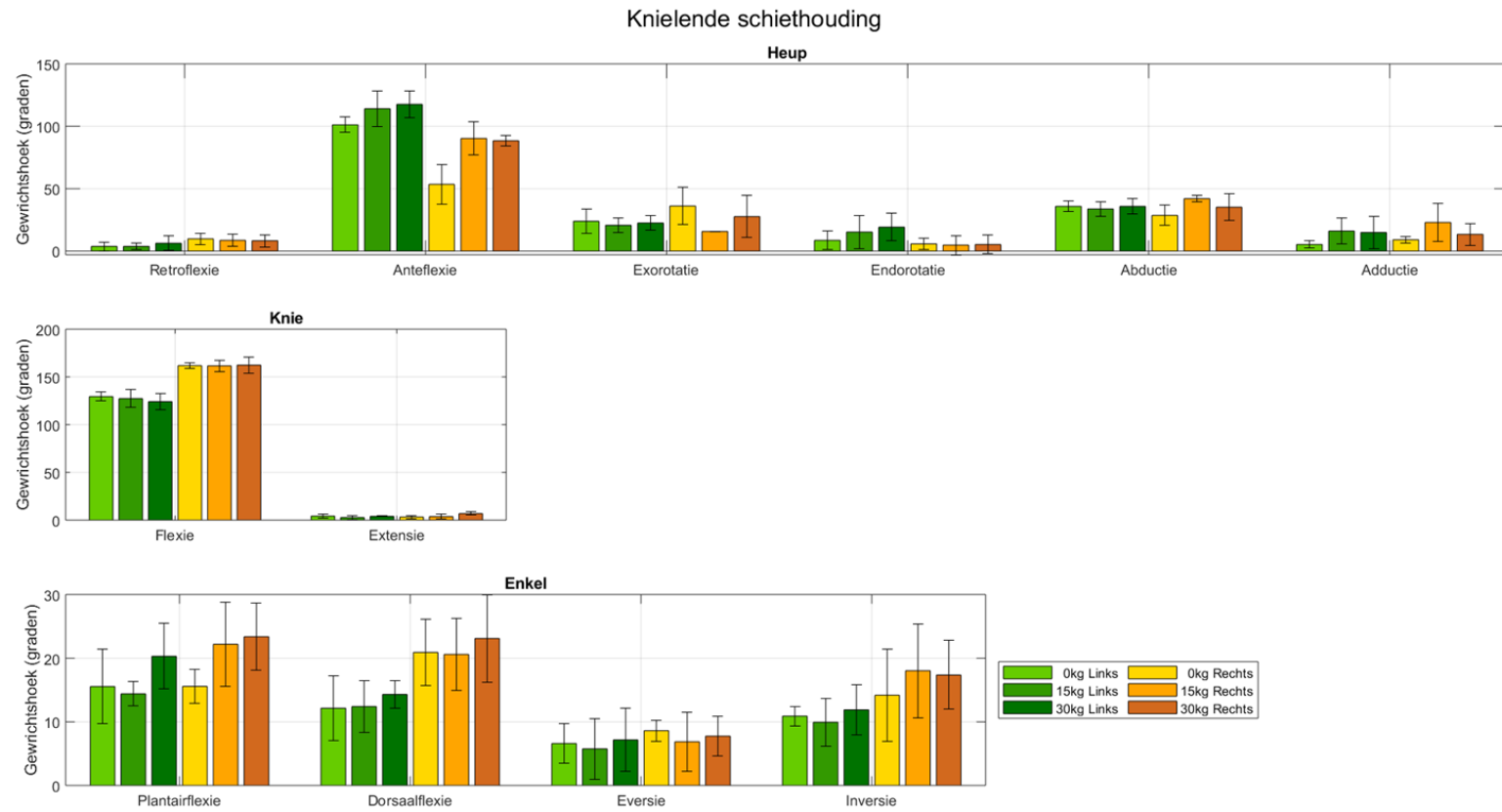
Figuur B 9 Hoekuitslagen van verschillende condities bij voorwaarts onder obstakel door



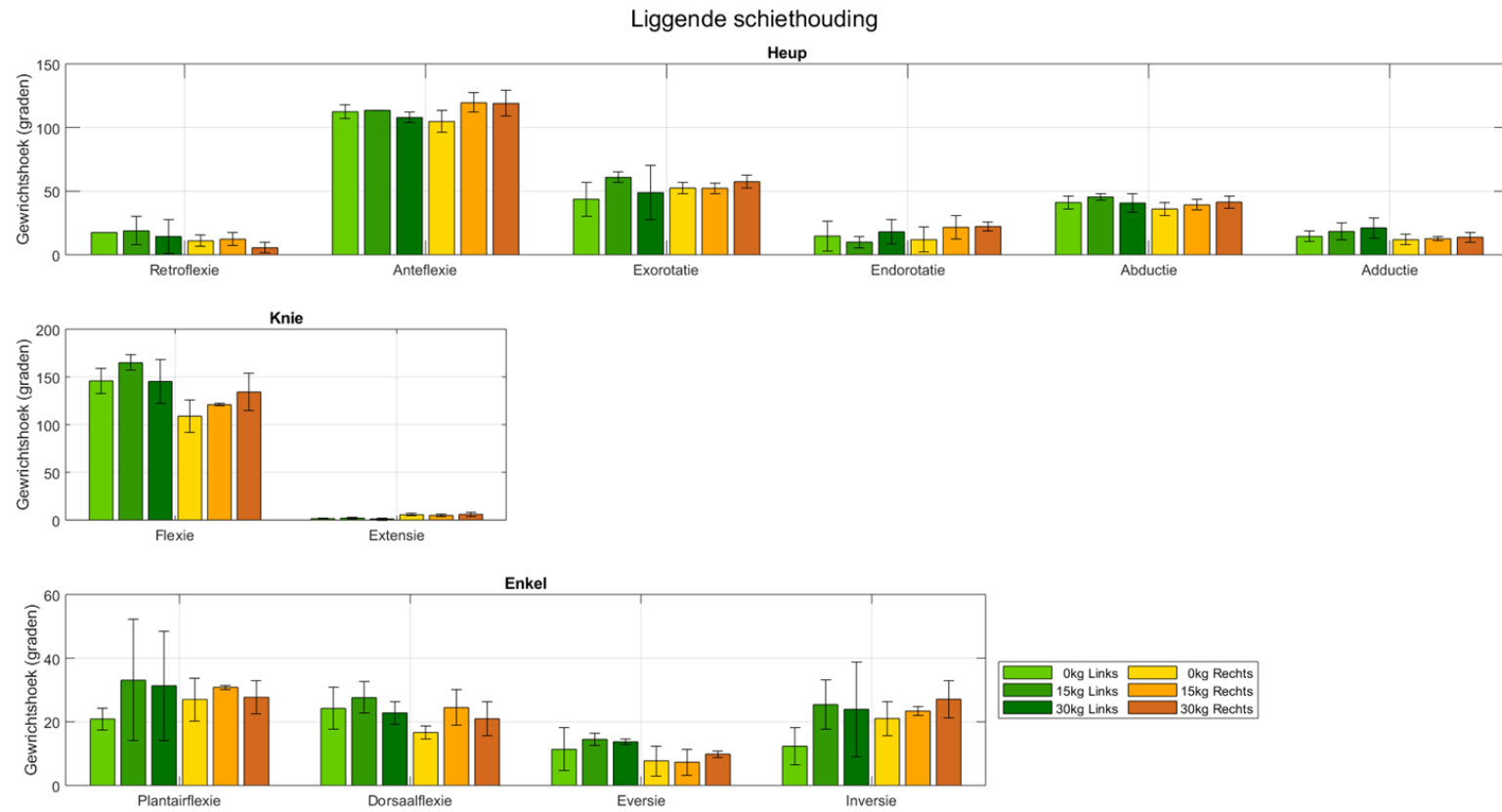
Figuur B 10 Hoekuitslagen van verschillende condities bij over obstakel stappen



Figuur B 11 Hoekuitslagen van verschillende condities bij zijwaarts onder obstakel door

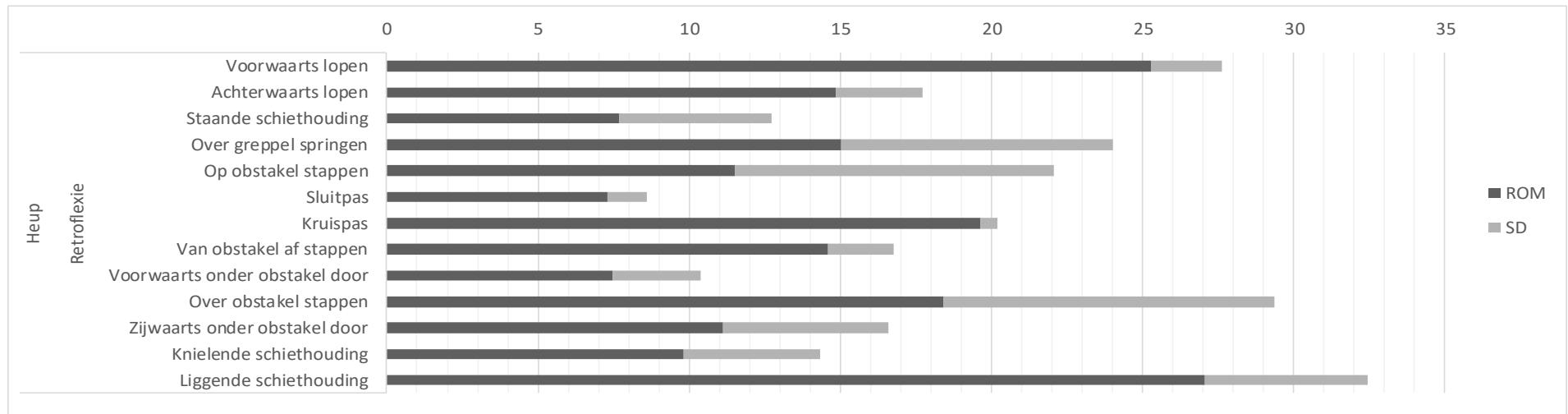


Figuur B 12 Hoekuitslagen van verschillende condities bij knielende schiethouding

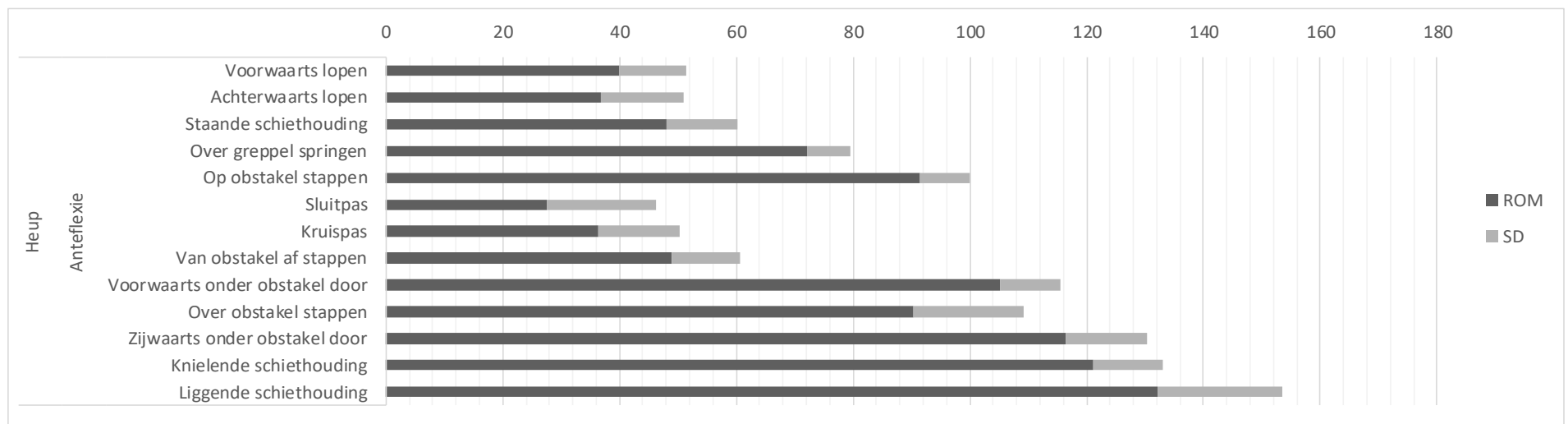


Figuur B 13 Hoekuitslagen van verschillende condities bij liggende schiethouding

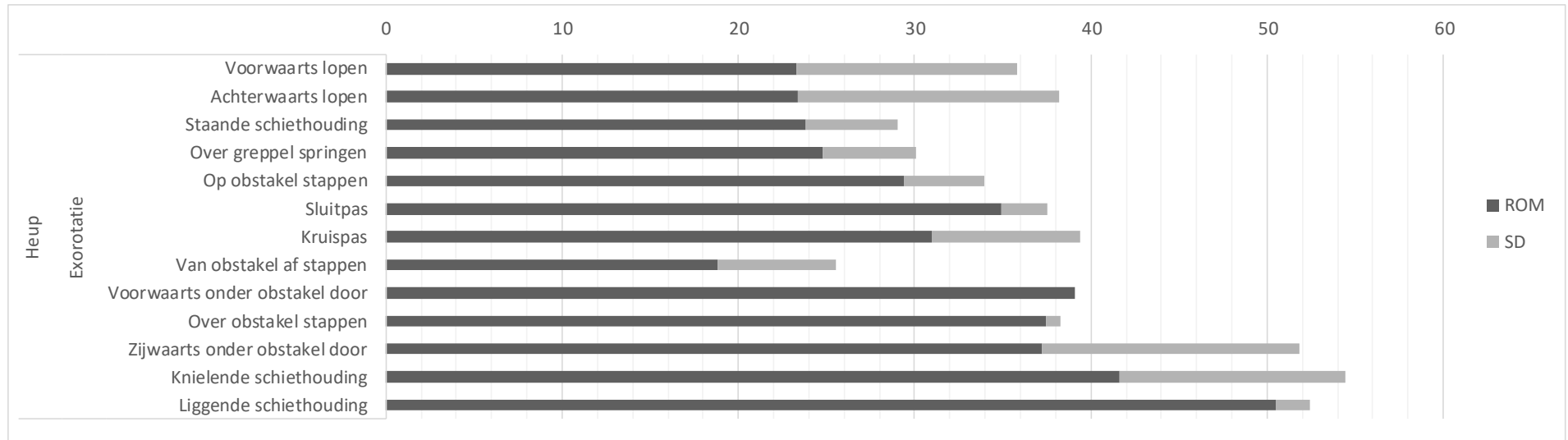
Bijlage 3. Hoekuitslagen per bewegingsrichting van alle militair relevante handelingen



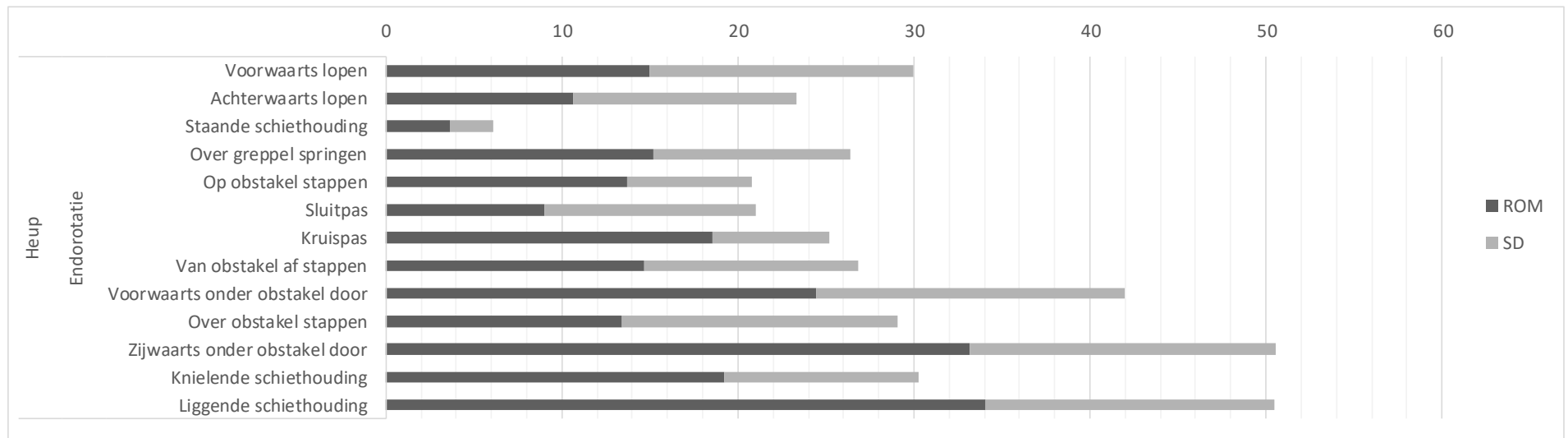
Figuur C 1 Hoekuitslagen per militair relevante handeling voor retroflexie



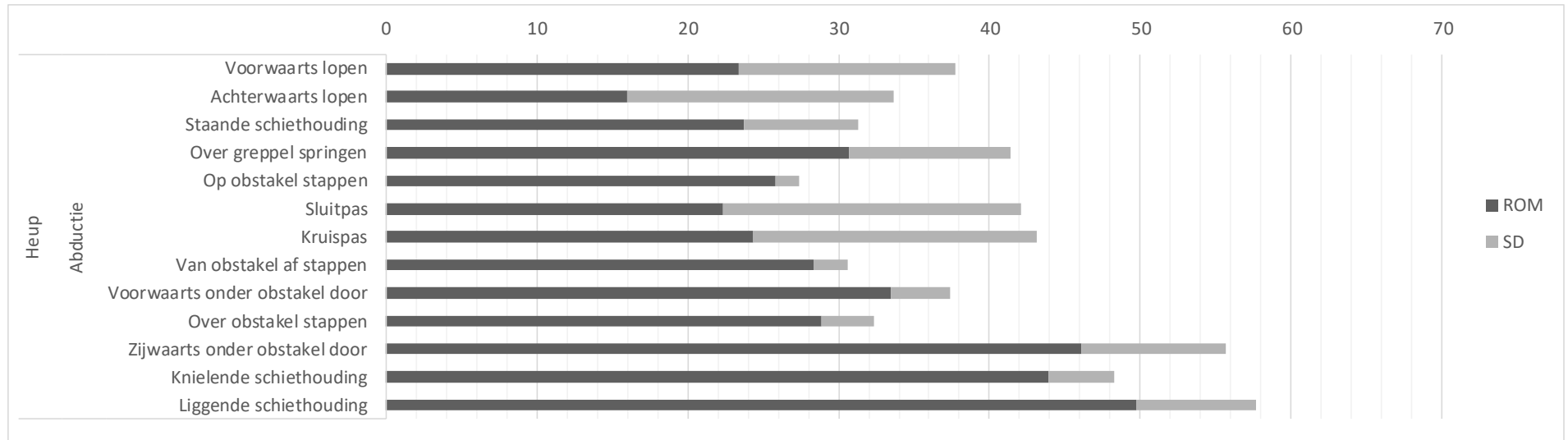
Figuur C 2 Hoekuitslagen per militair relevante handeling voor anteflexie



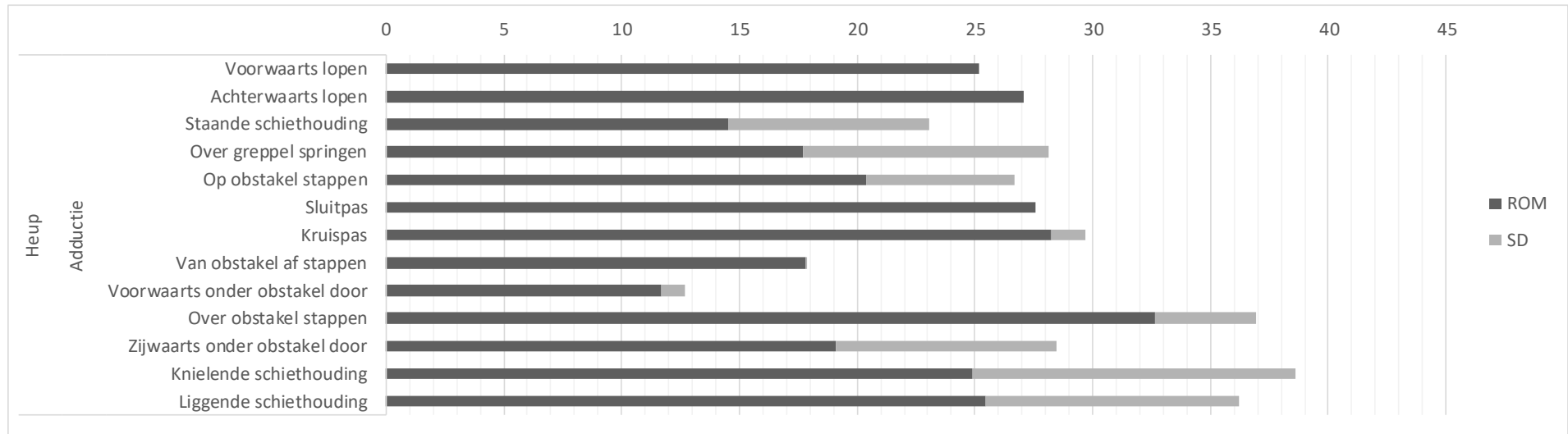
Figuur C 3 Hoekuitslagen per militair relevante handeling voor exorotatie



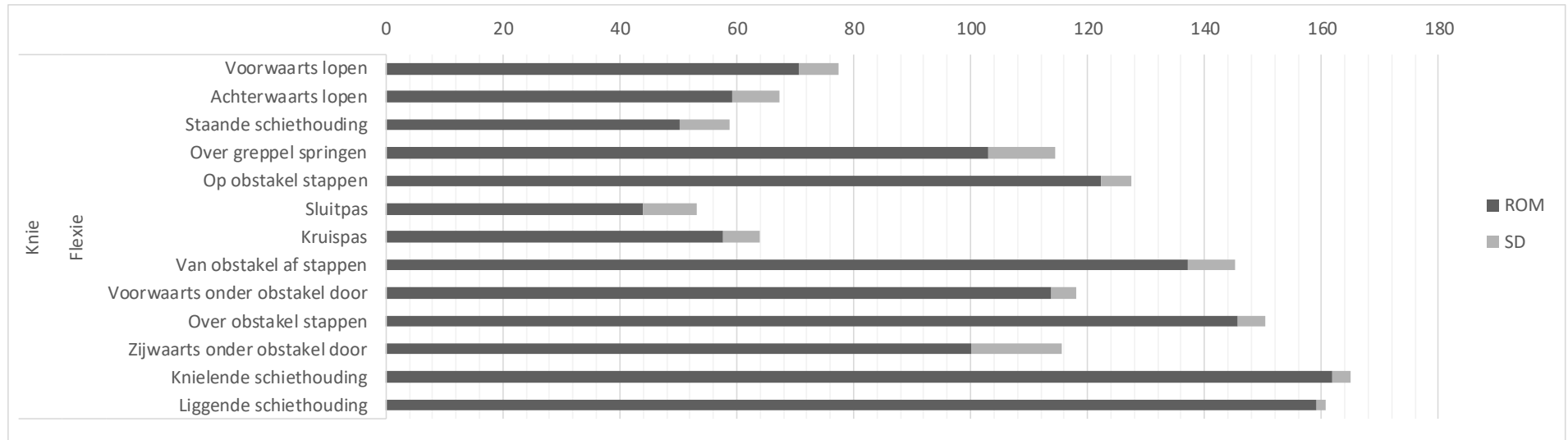
Figuur C 4 Hoekuitslagen per militair relevante handeling voor endorotatie



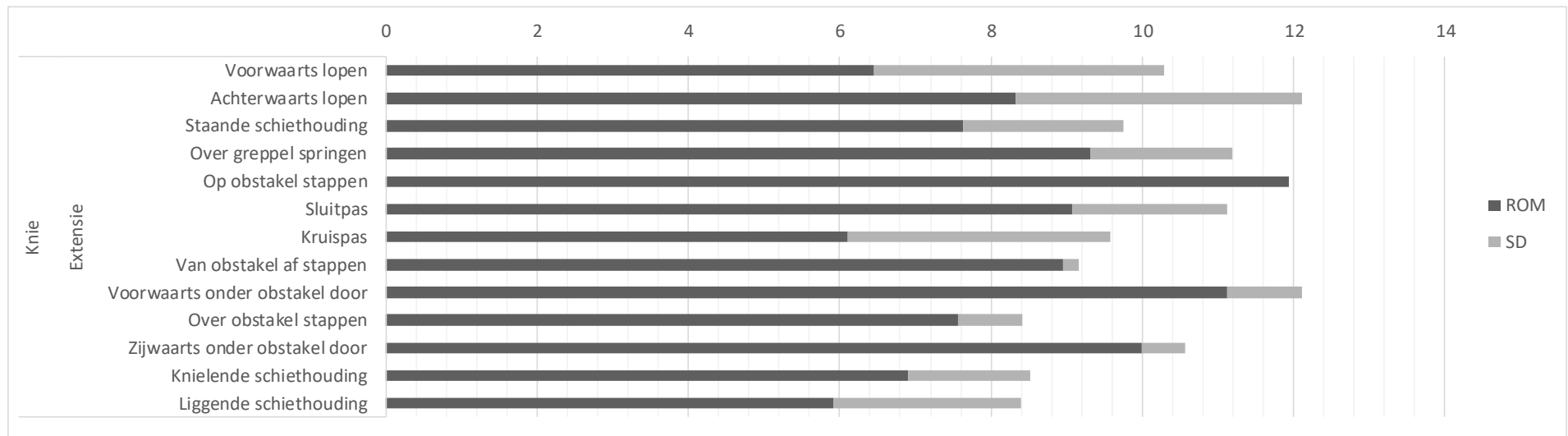
Figuur C 5 Hoekuitslagen per militair relevante handeling voor abductie



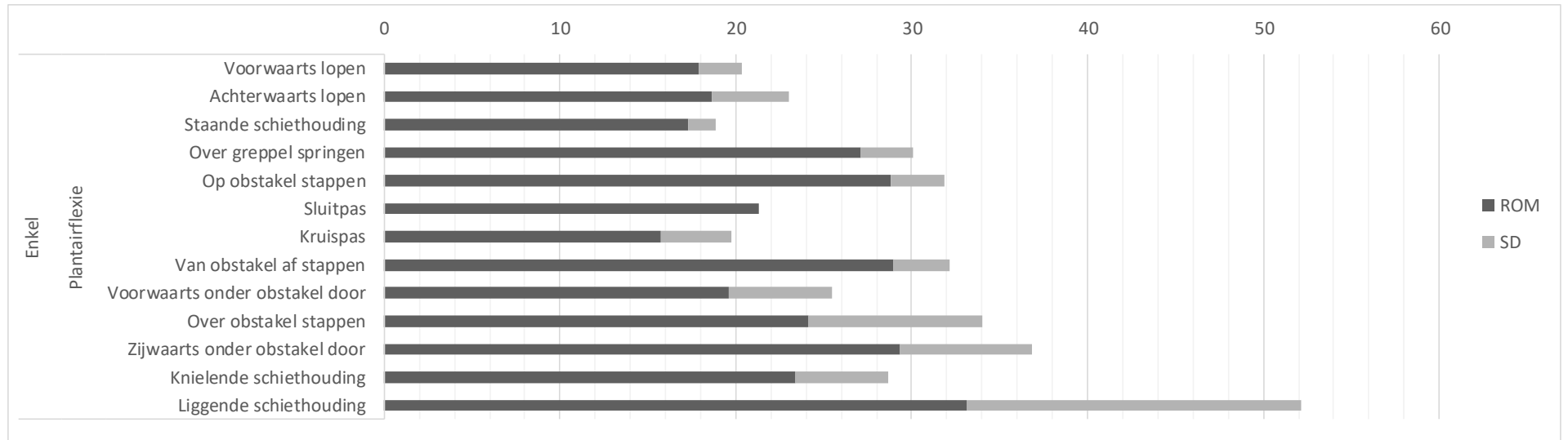
Figuur C 6 Hoekuitslagen per militair relevante handeling voor adductie



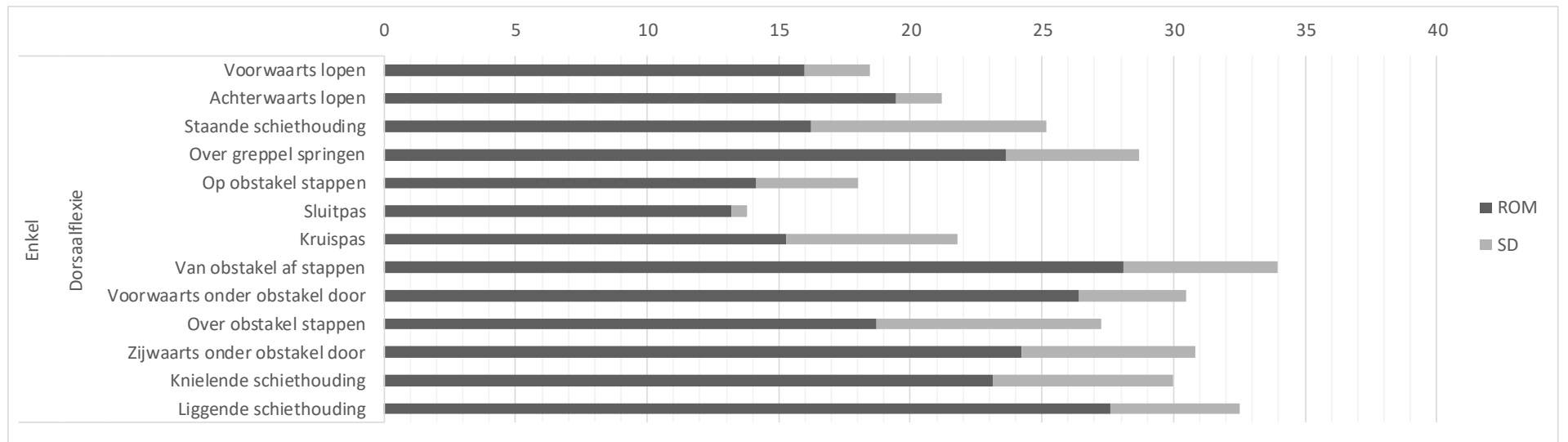
Figuur C 7 Hoekuitslagen per militair relevante handeling voor flexie



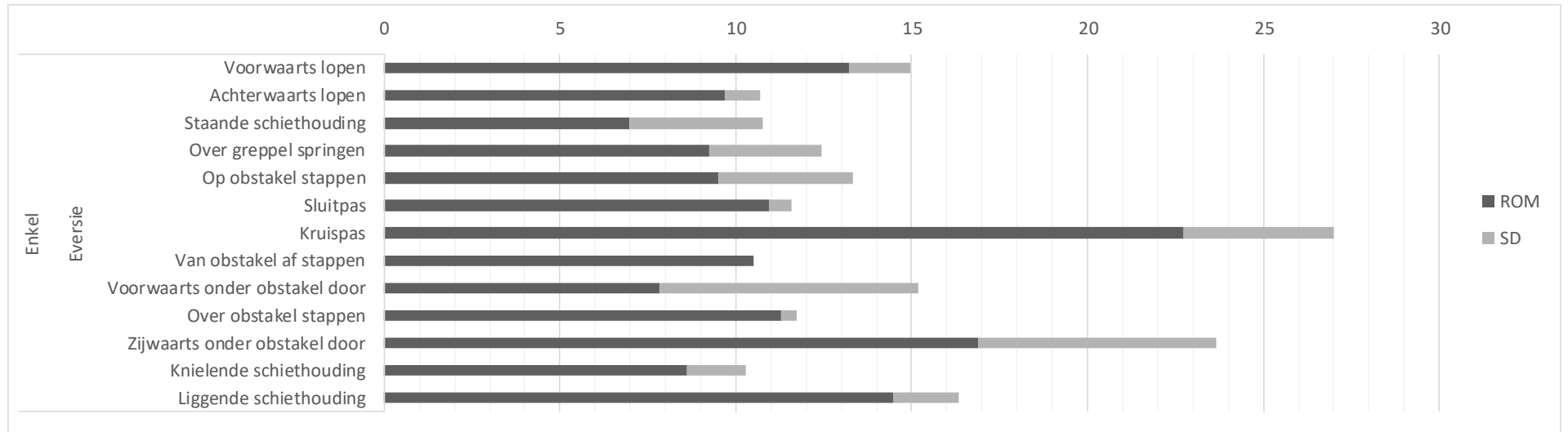
Figuur C 8 Hoekuitslagen per militair relevante handeling voor extensie



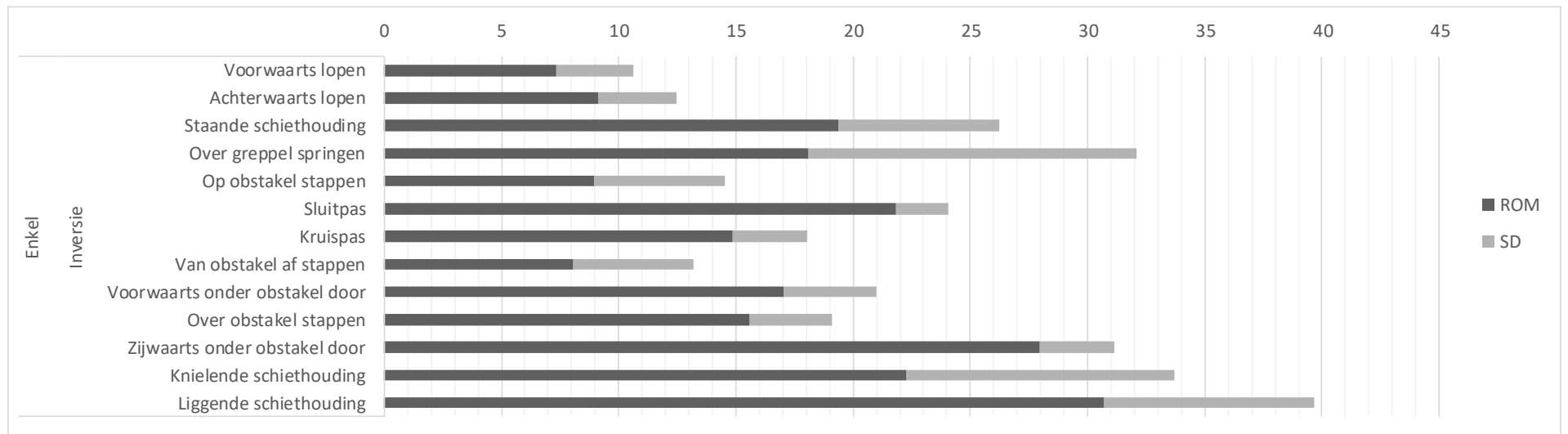
Figuur C 9 Hoekuitslagen per militair relevante handeling voor plantairflexie



Figuur C 10 Hoekuitslagen per militair relevante handeling voor dorsaalflexie



Figuur C 11 Hoekuitslagen per militair relevante handeling voor eversie



Figuur C 12 Hoekuitslagen per militair relevante handeling voor inversie