

Energieverbruik tijdens het lopen met een prothese

Jeroen Stijl
Eindexamenopdracht afdeling Fysiotherapie
Hogeschool Utrecht
April 2010

Samenvatting

Doelstelling: De doelstelling van dit review is onderzoeken of een intelligente prothese (IP) minder energie verbruikt dan een conventionele prothese tijdens het lopen. Als IP wordt de C-Leg en/of de Mauch SNS gebruikt. Deze worden met elkaar en met een conventionele prothese vergeleken.

Methode: Bij het zoeken naar wetenschappelijke artikelen is gebruik gemaakt van een aantal databases, te weten: medline, pedro en pubmed. De kwaliteit van de artikelen werd beoordeeld aan de hand van de Newcastle - Ottawa Quality Assessment Scale for case control studies (NOS). Voor dit literatuur onderzoek is gebruik gemaakt van 6 Engelstalige artikelen. De artikelen scoorden tussen de 6 en 8 sterren op de NOS score. Alle artikelen waren case control studies.

Resultaten: Een patiënt die loopt met een IP verbruikt 3 tot 15% minder energie dan wanneer hij loopt met een conventionele prothese.

Conclusie: Een patiënt met een bovenbeen amputatie verbruikt minder energie met een IP en in het bijzonder met een C-leg. De resultaten spreken meer over een trend dan over significantie.

Inleiding

Jaarlijks worden er in Nederland 3000 amputaties van extremiteiten verricht. 2000 van deze amputaties worden verricht aan de onderste extremiteit. De incidentie van amputaties in Nederland is jaarlijks circa 20 per 100.000 inwoners (Geertzen et al, 2003).

Van alle amputatie patiënten is 60% van het mannelijke geslacht (Geertzen et al, 2003). De laatste jaren is er wel een 'inhaalslag' van het vrouwelijke geslacht zichtbaar.

80 tot 90% van alle amputaties komt door arterieel vaatlijden. 80% van de patiënten is 60 jaar of ouder. Uit deze groep mobiliseert ongeveer 48% later met een prothese. Mortaliteit ligt bij patiënten die zonder prothese mobiliseren hoger. De patiënten die een amputatie ondergaan door arterieel vaatlijden leeft na 5 jaar nog maar 10% (RKZ protocol, 2009).

Amputaties van de onderste extremiteit komen procentueel vaker voor. Bij de onderste extremiteit zijn verschillende amputatie hoogtes te onderscheiden. Dit is te zien in tabel 1.

Niveau	Prevalentie (%)
Transtibiaal	47
Transfemoraal*	35
Knie-exarticulatie*	12
Voet	6
Heupexarticulatie/hemipelvectomy*	<1

Tabel 1. *mobilisatie middels C-leg mogelijk.

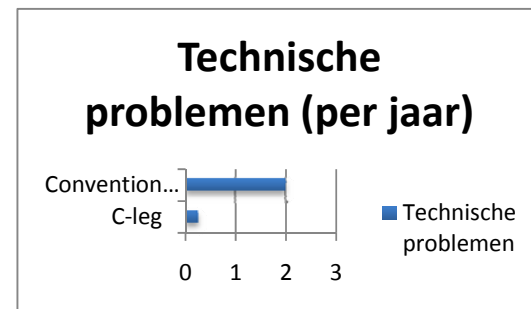
Er zijn verschillende intelligente protheses op de markt. In dit onderzoek zal er vooral worden gekeken naar de C-leg. De C-leg prothese is ontworpen door Otto Bock. De C-leg onderscheidt zich van andere protheses door het elektrisch-hydraulische kniegewricht. Er wordt door de fabrikant een veilige stand- en zwaaifase gegarandeerd (O. Bock Healthcare, 2007). Door deze veiligheid vallen patiënten die een C-leg dragen minder vaak. Vallen is bij prothese dragers met een amputatie van de onderste extremiteit een groot probleem. De helft van de patiënten met een amputatie van de onderste extremiteit valt twee tot tien keer per jaar. Het vallen gebeurt vaak op een trap. De oorzaak hiervan is het te vroeg

losschieten van het mechanisme in de knie. Als het mechanisme losschiet, flecteert de knie ongecontroleerd (Greitemann et al, 2006).

Het kniegewricht van de C-leg werkt met een hydraulische cilinder. Deze cilinder wordt middels een microprocessor aangestuurd. Door de microprocessor is de cilinder in staat om 50 keer per seconde zijn weerstand aan te passen. Omdat de C-leg in staat is constant de weerstand te veranderen, is het ook mogelijk om op oneven ondergronden te lopen. De hydraulische cilinder heeft een speciale stand waarin extra weerstand wordt gegenereerd zodat er door de drager bijvoorbeeld gefietst kan worden. De medische indicatie voor een C-leg is een amputatie van de knie of hoger en mensen met een hoog activiteiten niveau (>5 km per dag) en met een hoog tempo van lopen (> 5km/u). Het lopen van trappen en oneffen ondergronden kan noodzakelijk zijn voor het privé leven of voor het werk. Voor mensen met een bilaterale amputatie is het met deze prothese ook mogelijk om te leren lopen. Contra-indicatie voor de C-leg zijn cognitieve problemen (O. Bock Healthcare, 2007).

De C-leg kost bij aanschaf rond de €17.000,-. Een vergelijkbare conventionele prothese kost circa €6.600,- (Brodtkorb et al 2008).

Dragers ondervinden minder technische problemen met de C-leg dan met de conventionele prothese. Bij de C-leg komt gemiddeld eens per 4 jaar een probleem voor, bij de conventionele prothese gemiddeld 2 per jaar. Zie grafiek 1.



Grafiek 1: Technische problemen.

De kwaliteit van leven is met de C-leg volgens onderzoek beter (Swanson et al, 2005). In de literatuur spreekt men van 2 verschillende redenen.

1. Er is meer bewegingsvrijheid in het dagelijks leven.
2. De patiënt is in staat om zijn oude leven zo veel mogelijk weer op te pakken (Brodtkorb et al, 2008, Gerzeli et al, 2009, Swanson et al, 2005).

Een patiënt met een prothese kan onder andere op de volgende kosten rekenen: werkverzuim, ziekenhuiskosten, aanschaf kosten en onderhoud kosten. Verder zijn er factoren die niet in geld uit te drukken zijn. Dit is onder andere het kwaliteit van leven. Kwaliteit van leven is erg belangrijk voor patiënten met een prothese (Swanson et al, 2005, Brodtkorb et al, 2008).

Als alle kosten worden meegerekend dan komen onderzoekers op de volgende kosten: de C-leg zou na 5 jaar een totaal bedrag van €66.927,- kosten. Een conventionele prothese (in dit onderzoek de niet microprocessor gestuurde knie (NMC)) kan rekenen op een bedrag van €66.669,- (Gerzeli et al, 2009). De totale kosten van beide prothesen blijken over een periode van vijf jaar dus ongeveer vergelijkbaar.

Het gewicht van een prothese is van belang. Buckley en collega's (1997) beschrijven dat voor elke 0.5 kg die een prothese extra weegt de drager 3,5 tot 7 % meer energie per meter moet leveren om zich voort te kunnen bewegen. Als

de schoenen 0.2 kg meer wegen (0.1 kg per schoen) is 1.9% meer energie nodig per afgelegde meter.

Mensen zonder een amputatie lopen een gemiddelde snelheid van 3.6 tot 4.8 kilometer per uur (km/u).

Een gezonde man van 70 kilogram (kg) die een snelheid van 4,8 km/u loopt verbruikt 4,5 kilocalorieën per minuut (kcal/min) of 0,055 kilocalorieën per meter (kcal/m). Tijdens het op lopen van een trap gebruikt dezelfde man 6-12 kcal/min. Dit is afhankelijk van zijn snelheid.

Een patiënt met een bovenbeen amputatie loopt met een conventionele prothese 43% langzamer, verbruikt 5% minder kcal/min en verbruikt 89% meer kcal/m dan een mens zonder amputatie (Deckers, 2007). Perry en collega's (2004) schrijven dat er na een amputatie bij het lopen met een conventionele prothese een toename van het energieverbruik is met circa 45 %.

Patiënten met een bovenbeenamputatie die met een conventionele prothese lopen die een vaste knie heeft, verbruiken 65% meer energie per afgelegde meter: patiënten die met een conventionele prothese lopen die een losse knie heeft verbruiken zelfs 67% meer energie per afgelegde meter (Deckers, 2007). Het zuurstofverbruik bij een patiënt met een dubbelzijdige bovenbeenamputatie die met twee conventionele protheses loopt, gaat met 280% omhoog ten opzichte van een gezond proefpersoon. Deze toename is per afgelegde meter. (Deckers, 2007).

Onderzoeksvraag: *Is het energie verbruik tijdens het lopen met een intelligente prothese (IP) (zoals een C-Leg of een Mauch SNS) lager dan met een conventionele prothese bij mensen met een transfemorale amputatie of een knie ex-articulatie?*

Methoden

Bij het vinden van onderzoeken is gebruik gemaakt van de volgende online databases: medline, pedro en pubmed. De volgende zoektermen in verschillende samenstellingen werden gebruikt: C-leg, lower extremity, amputation, metabolic, energy expenditure. Om geïnccludeerd te worden moesten er minimaal twee protheses worden vergeleken. Een van de protheses moest een intelligente prothese zijn. Verder was het van belang dat het energie verbruik van de patiënten werd gemeten. Alle artikelen moesten na 1996 gepubliceerd zijn. Er werden vijf artikelen geïnccludeerd.

Met de Newcastle - Ottawa Quality Assessment Scale (NOS) is de kwaliteit van de artikelen beoordeeld. Bij de NOS kan een maximale score worden behaald van 9 sterren. Voor de NOS score is geen richtlijn waar de grens ligt wanneer een artikel het label van hoge kwaliteit behaalt. Om toch een onderscheid te kunnen maken is er gekozen om deze grens op 5 sterren te leggen. Verder werd ook informatie van de leveranciers van de verschillende protheses gebruikt zoals Otto Bock healthcare en ossur.nl. In tabel 2 staan de artikelen genoemd met de behaalde score.

Artikel	Aantal sterren (max= 9)
Buckley et al, 1997	6
Perry et al, 2004	6
Orendurff et al, 2005	8
Swanson et al, 2005	8
Datta et al, 2005	7

Tabel 2: Artikelen geschaald met de Newcastle - Ottawa Quality Assessment Scale (NOS)

Resultaten

Volgens Datta en collega's (2005) verbruikt een patiënt met een unilaterale bovenbeen amputatie die loopt met een conventionele prothese een snelheid van 2,5 km/u 0.33 milliliter zuurstof per kilogram lichaamsgewicht per meter (ml/kg.m). Met een IP (bijv. de C-Leg) ligt dit op 0.30 ml/kg.m ($p < 0.05$). Bij een snelheid 4,5 km/u is het verbruik met een conventionele prothese 0.24 ml/kg.m en met een IP is dit 0.22 ml/kg.m ($p > 0.05$) (Datta et al, 2005).

Perry en collega's (2004) schrijven in hun artikel dat door het lopen met de C-leg het energieverbruik met 3 tot 15% verminderd wordt ten opzichte van het lopen met een conventionele prothese, bij patiënten met een enkelzijdige amputaties aan de onderste extremiteit. Het gaat hierbij over een toename van het energieverbruik met ruim 30% ten opzichte van het lopen zonder een bovenbeen prothese.

Schmalz en collega's (2002) schrijven in hun artikel dat iemand die loopt met een enkelzijdige C-leg prothese 4 tot 7% minder zuurstof verbruikt dan een patiënt die loopt met een conventionele prothese.

In het artikel van Perry en collega's (2004) wordt beschreven dat de ademhaling frequentie en de hartslag van de proefpersoon tijdens het lopen met de C-leg hoger ligt dan bij het lopen met de conventionele prothese. Echter in de studie van Schmalz en collega's (2002) wordt beschreven dat de hartslag lager ligt bij het lopen met de C-leg ten opzichte van een conventionele prothese.

Het verschil in energieverbruik is zichtbaar tijdens de lage en gemiddelde loopsnelheden. Deze snelheden liggen tussen de 2.9 km/u (lage loopsnelheid) en de 3.6 km/u (gemiddelde loopsnelheid).

Bij een hoge loopsnelheid (4.7 km/u) liggen de protheses qua energieverbruik dicht bij elkaar. Als de proefpersonen zelf een snelheid mogen kiezen waarop ze lekker lopen is deze snelheid verschillend. De gekozen snelheid was als volgt: 4.72 km/u $SD \pm 0.43$ km/u voor de C-leg en 4.36 km/u $SD \pm 0.36$ km/u voor de Mauch SNS (Orendurff et al 2006).

Mensen die met een C-leg prothese lopen benaderen de 'normale' loopsnelheid. Met de C-leg werd een snelheid van gemiddeld 3.42 km/u behaald. (Perry et al, 2004).

In een onderzoek tussen acht individuele personen moesten de proefpersonen een keuze maken tussen twee protheses. De proefpersonen konden uit de C-leg en de Mauch SNS kiezen. De uitkomst van het energieverbruik was als volgt: vier van de acht verbruikten minder energie met de C-leg, bij drie andere patiënten maakte het niet uit met welke prothese gelopen werd. Bij één persoon lag het energieverbruik met de Mauch SNS lager. De patiënten mochten kiezen welke prothese ze als vaste prothese wilden gebruiken. Zeven van de acht patiënten koos hierbij voor de C-leg (Orendurff et al, 2006).

In tabel 3 staan uitkomsten van vier artikelen beschreven.

Perry et al, 2004	C-leg (%N)	Mauch SNS (%N)	PSPC	P-Waarde
3-5 min^	167*	265*		#
19-20 min^	120*	304*		#
Orendurff et al, 2005	(mL/kg/m)	(mL/kg/m)		
2.9 km/u	0.254 SD±0.019	0.235 SD±0.022		P > 0.555
3.6 km/u	0.214 SD±0.020	0.224 SD±0.025		P > 0.246
4.7 km/u	0.209 SD±0.021	0.225 SD±0.027		P > 0.185
Buckley et al, 1997		VO2 (L/min)	VO2 (L/min)	
2.0 km/u		0.770 SD±0.079	0.810 SD±0.073	#
4.2 km/u		1.133 SD±0.092	1.156 SD±0.081	#
Datta et al, 2005		(mL/kg/m)	(mL/kg/m)	
2.5 km/u		0.30	0.33	P<0.05
4.5 km/u		0.22	0.24	#

Tabel 3: Zuurstofverbruik.

^ minuten in een 20 minuten wandeltest

* % energieverbruik ten opzichte van gezonde proefpersonen.

P-waarde niet bekend.

Discussie

In vrijwel elk artikel wordt met een andere eenheid gemeten. In het artikel van Orendurff en collega's (2005), Perry en collega's (2004) en Datta en collega's (2005) wordt gesproken over energieverbruik. In het artikel van Buckley en collega's (1997) wordt gesproken over zuurstof verbruik. De uitkomst waarde die Buckley en collega's (1997) en Orendurff en collega's (2005) gebruiken in hun artikel is mL/kg.m. In het artikel van Perry en collega's (2004) wordt gemeten met waarde die N wordt genoemd. Deze N waarde is afgeleid van een onderzoek onder gezonde proefpersonen. De uitkomsten van elk artikel zijn daardoor niet direct met elkaar te vergelijken. Dit maakt het interpreteren lastig. Wat opvalt als je de resultaten van alle onderzoeken naast elkaar neerlegt, is dat ze vrijwel allemaal dezelfde uitkomst hebben terwijl ze wel verschillende eenheden gebruiken. Er wordt gesproken over een verminderd energie/zuurstof verbruik tijdens het lopen met de C-leg. Dit verschil is bij hoge loopsnelheid het beste waarneembaar.

Datta en collega's (2005) vermelden dat het verschil significant aantoonbaar is. Buckley en collega's (1997) en Perry en collega's (2004) hebben het niet over significantie maar over een zichtbare trend.

Deze trend zou inhouden dat de patiënten die met een IP (de C-leg of de Mauch SNS) lopen minder energie verbruiken dan patiënten die met een conventionele prothese lopen.

In de artikelen worden verschillende protheses vergeleken. Er wordt gemeten met de C-Leg, de Mauch SNS en een conventionele prothese. Deze drie protheses worden in een willekeurige volgorde met elkaar vergeleken in de verschillende artikelen. De enige constante factor is dat er altijd een IP

prothese aanwezig is. Dit is of de Mauch SNS of de C-Leg. Deze worden ook met elkaar vergeleken.

De periode om aan de prothese te wennen verschilt per onderzoek. De periode is in elk onderzoek vrij kort om goed aan de prothese te kunnen wennen.

De proefpersoon heeft vaak een van de protheses die wordt getest als zijn vaste prothese. Hierdoor heeft de patiënt deze al langer tot zijn beschikking en kan hier beter mee omgaan. De periode om aan de prothese te wennen varieert van 2 weken tot 3 maanden. In deze tijd moet de patiënt leren omgaan met de prothese en vertrouwen in de prothese krijgen. Het wennen aan de C-leg verloopt, net zoals bij andere intelligente protheses, anders dan bij conventionele protheses. De reden hiervoor is dat de IP een bewegende knie heeft. De C-leg heeft de mogelijkheid om de druk in de cilinder constant aan te passen. Dit maakt het wennen aan de prothese nog een stapje moeilijker. Hierdoor kunnen dit aan het begin lastige protheses zijn om mee te leren lopen. Hierdoor is 2 weken om aan een prothese te wennen kort. De periode van 3 maanden kan zelfs nog kort zijn. Eigenlijk zou iedere patiënt circa een half jaar moeten hebben om aan een prothese te wennen. Dit zou echter ethisch gezien minder verantwoord zijn. Dit kan alleen als de proefpersonen er helemaal mee in zouden stemmen. Daarnaast zou z'n onderzoek veel geld kosten.

In de artikelen wordt geen rekening gehouden met de verschillende comorbiditeiten, deze zijn niet beschreven. De kans dat dergelijke variabelen over het hoofd worden gezien is groot. Als de variabelen over het hoofd worden gezien kunnen deze de uitkomst van een onderzoek beïnvloeden.

De onderzoeken maken allemaal gebruik van een kleine groep patiënten. Door

deze kleine groepen wordt de kans groter dat de gevonden verschillen op toeval berusten. Er is een studie waarin één patiënt wordt getest (Perry et al, 2004). Dit houdt in dat de uitkomsten alleen voor deze ene patiënt gelden. De conclusie is niet op andere bilaterale amputatie patiënten toe te passen.

In een ander onderzoek (Orendurff et al, 2005) worden acht patiënten getest. Bij vier van de acht patiënten kwam de C-leg, qua energieverbruik, beter uit de test. Je zou kunnen concluderen dat bij 50% van de mensen met een bovenbeen amputatie het energieverbruik verminderd zou worden als er gelopen wordt met een C-leg. Bij dit onderzoek is eveneens gebruik gemaakt van een kleine groep. Om die reden zal men voorzichtig moeten zijn met de waarde die men aan deze conclusie hecht. Uit het onderzoek kwam naar voren dat zeven van de acht patiënten de C-leg elke dag wilden gebruiken als hun vaste prothese. Er zou gezegd kunnen worden dat 88% van de patiënten met een bovenbeen amputatie voor een C-leg kiest.

In het onderzoek van Buckley en collega's (1997) is te lezen dat niet iedere patiënt een beter energieverbruik heeft met het lopen met een IP (de C-leg of de Mauch SNS).

In het onderzoek van Datta en collega's (2005) staat dat bij lage loopsnelheden de patiënt die loopt met een IP minder energie verbruikt dan wanneer er wordt gelopen met een conventionele prothese. Dit resultaat wordt onderbouwd door de artikelen van Schmalz en collega's (2002) en Perry en collega's (2004). In de artikelen van Perry en collega's (2004) en Schmalz en collega's (2002) staat te lezen dat ook bij hogere snelheden deze conclusie getrokken kan worden. Datta en collega's (2005) denken wel dezelfde conclusie te kunnen trekken, maar zijn hier niet zeker van. Bij hogere snelheden

is wel een trend zichtbaar maar dit is niet significant. Dat lagere snelheden efficiënter worden afgelegd met de C-leg is wel significant gebleken volgens het artikel van Datta en collega's (2005).

Wat opvalt in het onderzoek van Perry en collega's (2004) is dat de hartslag van de patiënt tijdens het lopen met de C-leg hoger is dan bij het lopen met de andere protheses. Dit valt op omdat er wel wordt gesproken over een verminderd energieverbruik. In het artikel van Schmalz en collega's (2002) wordt wel over een lagere hartslag en een lager ademritme gesproken tijdens het lopen met een C-leg. Er wordt een oorzaak voor de hogere hartslag genoemd in het artikel van Perry en collega's (2004). In de weken dat de patiënt met de C-leg kan oefenen kiest de patiënt ervoor grotere stukken met zijn elektrische rolstoel te overbruggen. De C-leg werd gebruikt voor sociale activiteiten en de afstanden binnenshuis. Dit houdt wel in dat de fysieke conditie niet meer getraind wordt. Door het mindere lopen met de C-leg kan de conditie afnemen. Dit kan invloed hebben op de resultaten.

Conclusie

Een patiënt met een bovenbeen amputatie loopt energie zuiniger met een intelligente prothese dan met een conventionele prothese. Tussen de verschillende intelligente protheses verbruikt de patiënt die met de C-leg loopt minder energie dan de patiënt die met de Mauch SNS loopt. Het bewijs hiervoor is echter zwak. Er is wel een trend zichtbaar. Bij het kiezen van een prothese zijn de volgende punten belangrijk:

1. Het gewicht van de prothese moet zo laag mogelijk zijn.
2. Bij elke individu moet worden bekeken wat de beste prothese is.

Aanbeveling

Voor een beter onderbouwde conclusie rond de toegevoegde waarde van de C-leg prothese is onderzoek met een groter aantal proefpersonen noodzakelijk. Minimaal 30 proefpersonen met een unilaterale transfemorale amputatie. Hiermee kan het onderzoek naar het energieverbruik van de C-leg en het energieverbruik van een conventionele prothese verder worden aangescherpt. De periode om aan de prothese te wennen, zal rond de 6 maanden moeten zijn. Er zal moeten worden getest op tenminste 3 loopsnelheden op een loopband.

Artikelen

J.G. Buckley, W.D. Spence, S.E. Solomonidis: Energy Cost of Walking: Comparison of 'Intelligent Prosthesis' With Conventional Mechanism, *APMR* 1997;78:330-3.

M.S. Orendurff, A.D. Segal, G.K. Klute, M.L. McDowell, J.A. Pecoraro, J.M. Czerniecki: Gait efficiency using the C-Leg, *JRRD* 2005.06.0095.

J. Perry, J.M. Burnfield, C.J. Newsam, P. Conley: Energy Expenditure and Gait Characteristics of a Bilateral Amputee Walking With C-Leg Prostheses Compared With Stubby and Conventional Articulating Prostheses, *APMR* 2004;85:1711-7.

| T. Chin, H. Oyabu H, Y. Maeda, I. Takase, K. Machida: Energy consumption during prosthetic walking and wheelchair locomotion by elderly hip disarticulation amputees, *JRRD* 2009;88:399-403.

D. Datta, B. Heller, J. Howitt: A comparative evaluation of oxygen consumption and gait pattern in amputees using Intelligent Prostheses and conventionally damped knee swing-phase control, *JPO* 2005 Jun;19(4):398-403.

S. Gerzeli, A. Torbica, G. Fattore: Cost utility analysis of knee prosthesis with complete microprocessor control (C-leg) compared with mechanical technology in trans-femoral amputees, *Springer* 2008.

T. K. Brodtkorb, M. Henriksson, K. Johannesen-Munk, F. Thidell: Cost-Effectiveness of C-Leg Compared With Non-Microprocessor-Controlled Knees: A Modeling Approach, *APMR* 2008;89:24-30.

E. Swanson, J. Stube, P. Edman: Function and Body Image Levels in Individuals with Transfemoral Amputations Using the C-Leg, *JPO* 2005;17-3:80

T. Schmalz, S. Blumentritt, K. Tsukishiro, L. Kocher, H. Dietl; Metabolic Energy Expenditure in Amputees Walking with the C-Leg Prosthetic Knee Joint, *Gait & Posture* 2002 16: 255-263

Dr. J.H.B. Geertzen, promotie aan de Rijksuniversiteit Groningen 2003, Vleugellam de verlenging in?

J. Deckers: Aetiologie, Energieverbruik. cursus prothesestraining 2007.

O. Bock Healthcare: C-Leg Studies and information, 2008