

Marian Fournier

SPIERKRACHT EN MECHANISCHE GYMNASTIEK*

Met de opening van het Groningse Zander-Instituut in 1894 deed de medico-mechanische gymnastiek van Gustav Zander haar intrede in Nederland. In de loop van het daaropvolgende decennium werd nog een tiental van dergelijke instituten in Nederland opgericht in Amsterdam, Haarlem, Leeuwarden, Rotterdam, Arnhem, Utrecht, Nijmegen, 's Gravenhage, Scheveningen en Leiden. Rond de eeuwwisseling verheugde deze nieuwe vorm van fysiotherapie zich, blijkens de speciaal aan de Zander-therapie gewijde brochures¹ en de aantallen patiënten die in Zander-Instituten behandeld werden², in een vrij grote populariteit.

De medico-mechanische gymnastiek werd beoefend met behulp van gymnastiektoestellen. Een deel daarvan werd aangedreven door een stoommachine of electromotor, de overigen werden door de patiënt zelf in beweging gebracht. Deze laatste groep toestellen was zo geconstrueerd, dat de bewegingen die de patiënt erop uitvoerde, zo goed mogelijk beantwoordden aan de mechanica van de spierbeweging. Wanneer de spier weinig kracht kan ontwikkelen is de weerstand van een dergelijk toestel gering, maar daarentegen groot wanneer ook de kracht van de beweging groot is.

De Zweedse arts Jonas Gustav Wilhelm Zander (1835-1920)³ was de eerste die rond 1860 medico-mechanische gymnastiektoestellen vervaardigde en toepaste. Het succes van de Zander-apparaten, maar ook afwijkende opvattingen over het krachtsverloop van de beweging inspireerden anderen, waaronder Herz en Krukenberg, om later soortgelijke series gymnastiektoestellen te construeren. Zander's gymnastiektoestellen waren in de eerste plaats bedoeld om er de gymnastiekmethode van de Zweed Ling mee te kunnen beoefenen. Daarom ontwierp hij apparaten voor actieve en passieve bewegingsoefeningen en massage. De

*Enigszins gewijzigd verslag van een voordracht gehouden tijdens de najaarsvergadering van het Genootschap GeWiNa op 28 oktober 1978 te Leiden.

1. Zie o.a. B.S. de Smitt, *De waarde der Zander-therapie bij de behandeling van chirurgische en orthopaedische ziekten* (Amsterdam, 1896) en Ch. Vermeulen, *De toepassing der bewegingskuur volgens de Zander-methode*. (Amsterdam, 1895).

2. Arnhem 1899/1900 : 97 (*Jaarverslag Arnhemisch-Medico-Mechanisch-Zander-Instituut*, 1900); Den Haag 1904 : 258 (*Extract uit het Verslag 1904 van 's Gravenhaagsch Medico-Mechanisch Zander-Instituut*). Utrecht 1907 : 178 (*Jaarverslag 1907 Medico-Mechanisch Zander-Instituut te Utrecht*); Utrecht 1910: 121 (*Jaarverslag 1910 van het Medico-Mechanisch Zander-Instituut te Utrecht*).

3. Zie biografische schets in: A. Levertin et al., *Die Grundzüge der Dr. G. Zander'schen medico-mechanischen Gymnastikmethode* (Stockholm, 1894).

mechanica met name het verloop van de kracht van de beweging, vormde daarbij de theoretische basis van apparaten bestemd voor actieve bewegingsoefeningen. In dit artikel wil ik een overzicht geven van de overwegingen die Zander bij de constructie van zijn gymnastiektoestellen betrok en daarbij uitvoeriger ingaan op één aspect ervan, n.l. de mechanica van de spierwerking. Zanders opvattingen daarover ontmoetten rond 1900 de nodige kritiek en waren tegelijkertijd aanleiding om het krachtsverloop van de beweging nader te bestuderen. Enerzijds lagen dus aan de constructie van Zanders medico-mechanische gymnastiektoestellen spierfysiologische wetten ten grondslag terwijl anderzijds het gebruik ervan de aanzet vormde tot verder onderzoek van bepaalde facetten van de fysiologie van de spier.

Zanders gymnastiektoestellen

Aanvankelijk was Zander als gymnastiekleraar verbonden aan een meisjesspensionaat in het Zweedse Barasp waar hij het gymnastieksysteem van Pehr Henrik Ling (1776-1839)⁴ in praktijk bracht. Dit systeem, later algemeen bekend als Zweedse of heilgymnastiek, was aan het begin van de 19e eeuw door Ling geïntroduceerd. Uitgaande van de gedachte dat wanneer lichaams oefeningen aangewend worden om een ziekte te genezen, deze oefeningen doelmatig uitgevoerd moeten worden, stelde Ling twee uitgangspunten op als basis voor zijn systeem. In de eerste plaats dienden de bewegingen gelokaliseerd te zijn, m.a.w. een oefening moest afgestemd zijn op dié spier of spiergroep waarvoor zij bedoeld was en tijdens de oefening mocht dan ook alleen de betreffende spier(groep) in beweging komen. Op de tweede plaats achtte Ling het van het grootste belang, dat de hoeveelheid inspanning die de patiënt moest leveren langzaam opgevoerd kon worden, anders gezegd de mate van inspanning moest doseerbaar zijn.

Ling onderscheidde in zijn systeem de actieve beweging, die de patiënt zelf uitvoert, van de passieve, waarbij de therapeut (arts) één van de ledematen van de patiënt in beweging brengt. Bovendien introduceerde hij als speciale vorm van actieve beweging de weerstandsbeweging, waarbij de patiënt de beweging uitvoert tegen een tegenwerkende kracht in. Juist de weerstandsbeweging is, door de mogelijkheid de sterkte van de weerstand te variëren, bijzonder geschikt om de mate van inspanning van de patiënt te doseren en vormt dan ook de kern van Lings gymnastieksysteem. Het gehele systeem bestond uit een groot aantal actieve en passieve bewegingsoefeningen, die elk vanuit een verschillende uitgangshouding – staand, liggend of zittend – uitgevoerd konden worden en aangevuld werden met massage.

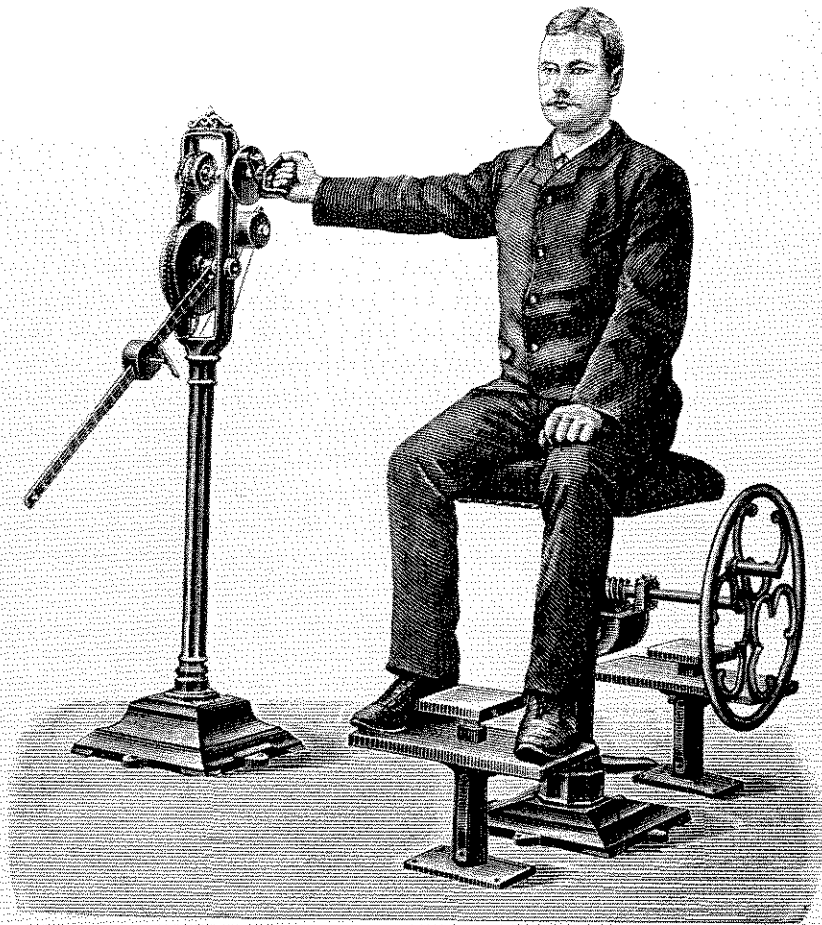
Zander ondervond⁵, evenals vele anderen, dat het systeem van Ling met zijn

4. Zie over Ling en zijn gymnastiekmethode: J. Kugel, *Geschiedenis van de gymnastiek* (Haarlem, 1977³), en het hoofdstuk over Lings systeem in: M. Herz, *Lehrbuch der Heilgymnastik* (Berlijn/Wenen, 1903).

5. Zie inleiding bij: A. Levertin, *Dr. G. Zander's medico-mechanische Gymnastik* (Stockholm, 1892).



Dr. G. Zander



Zander-toestel voor supinatie en pronatie van de arm (weerstandsoefening)

individuele begeleiding van patiënten (of in Zanders geval van leerlingen) van de therapeut een zeer grote lichamelijke inspanning vereiste. Deze ervaring riep bij hem de vraag op of de therapeut – vooral aan het einde van een inspannende dag – de lichamelijke conditie van zijn patiënten nog wel goed kon bepalen en bovendien de vereiste weerstandsoefeningen inderdaad nog op de juiste manier kon begeleiden. Indien dit niet het geval was, en daarover had Zander geen enkele twijfel, betekende dit dat de gangbare praktijk voorbijging aan één van de meest wezenlijke elementen van de Zweedse gymnastiek. Aangezien hij overtuigd was van het grote nut van deze gymnastiek zocht hij naar een manier om het probleem van de vermoeidheid van de therapeut te ondervangen. Hij meende dit te kunnen vinden in de toepassing van een mechanische weerstand in de vorm van een gymnastiekapparaat.

De gymnastiektoestellen die Zander voor ogen stonden, moesten geschikt zijn voor de bewegingsoefeningen van de Zweedse gymnastiek, d.w.z. hij diende apparaten voor actieve en vooral weerstandsbewegingen, passieve bewegingen en massage te ontwikkelen. De bewegingen moesten daarbij gelokaliseerd zijn, dus per toestel zou slechts één soort beweging uitgevoerd moeten kunnen worden, en voor zover het de weerstandsbewegingen betrof moesten de apparaten een doseerbare weerstand kunnen leveren. Deze weerstand en vooral het verloop ervan moesten volgens Zander aangepast zijn aan de fysiologie van de spier. In zijn overwegingen omtrent het verloop van de kracht van de beweging betrok hij twee destijds al bekende spierfysiologische wetten: de hefboomwet van Borelli en de wet van Schwann.

De hefboomwet is door Borelli geformuleerd in zijn posthuum verschenen *De motu animalium* (1680/81), en stelt dat de kracht van de spier op het bot werkt als een hefboom. Het effect van de kracht van de spier is dus evenredig met de hoek tussen het bot en het aangrijpingspunt van de spier op het bot, in die zin dat hoe groter de hoek is, des te groter de kracht is van de beweging. Later poneerde de Duitse onderzoeker Schwann in de naar hem genoemde wet (1837), dat de kracht van de spier afhankelijk is van de mate van contractie en wel zo dat de kracht van die spier kleiner is naarmate zij meer gecontracteerd is.

Zander ging ervan uit dat beide wetten tesamen bewerkstelligen dat de kracht van de beweging aan het begin klein zal zijn, zal toenemen tot een zeker maximum en daarna weer af zal nemen. Voor zijn gymnastiektoestellen hield dat dan in dat de weerstand van het apparaat aan het begin van de beweging gering moest zijn, moest toenemen naarmate de beweging vorderde en aan het einde van de beweging af diende te nemen. Een dergelijk weerstandsverloop verwezenlijkte Zander door toepassing van een verzwaarde hefboom, die tijdens de beweging een halve cirkel beschrijft. Vanuit verticale stand, wordt de hefboom door de inspanning van de patiënt in horizontale stand gebracht, waarbij de te overwinnen weerstand geleidelijk toeneemt. Deze weerstand is immers gelijk aan de last (d.i. het gewicht aan de hefboom) maal de arm (in dit geval de afstand van het gewicht tot de verticale as door het draaipunt van de hefboom). Wordt de

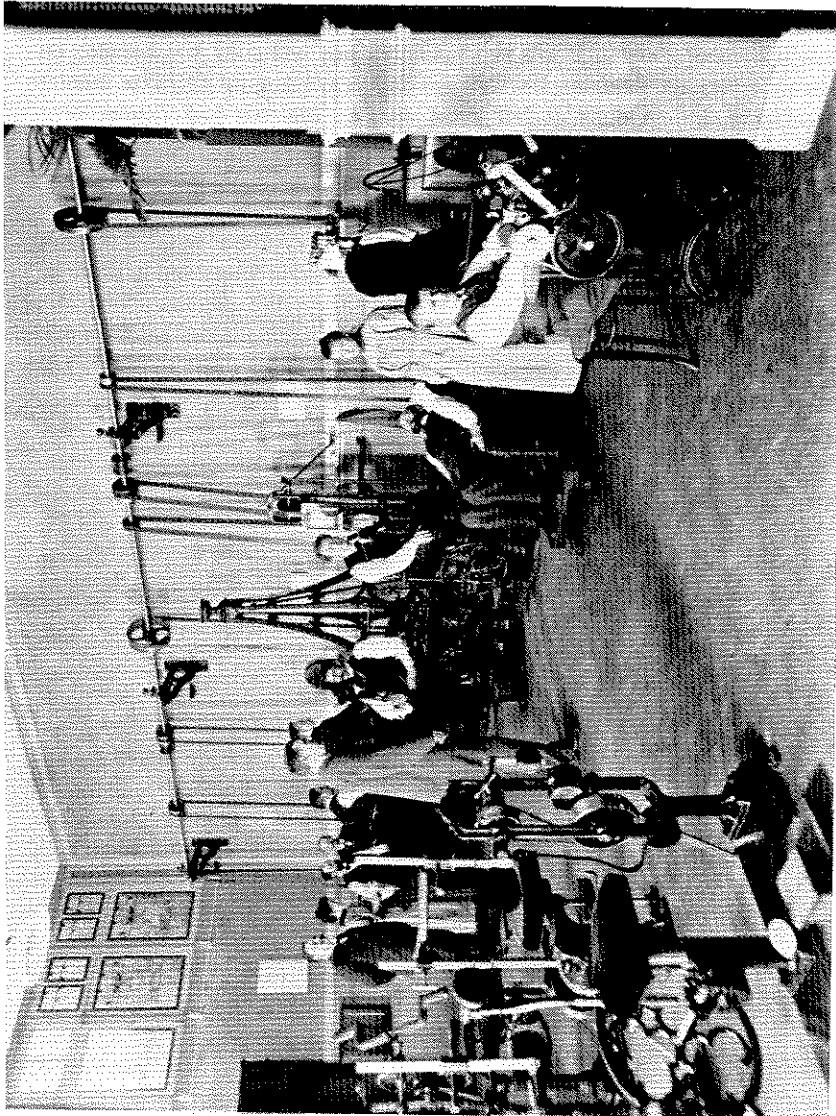
beweging daarna nog voortgezet dan wordt de weerstand weer kleiner. Door het gewicht langs de hefboom te verschuiven en daardoor de arm te verlengen of te verkorten kan de hoeveelheid weerstand naar believen gedoseerd worden. Uitgaande van dit principe stelde Zander een serie apparaten voor weerstandsoefeningen samen die elk voor een andere beweging geschikt waren.

De Zander-Instituten en -therapie

Naast deze apparaten voor actieve bewegingsoefeningen ontwierp Zander ook een serie apparaten voor passieve bewegingen en massage en bovendien een aantal rek- en strektoestellen, speciaal voor de behandeling van ruggegraatsverkrampingen. Alles bij elkaar bestond een volledige Zanderserie rond 1890 uit een 70-tal gymnastiektoestellen.

Zander vatte het idee voor deze toestellen naar eigen zeggen in 1856 op en werkte het uit tijdens de jaren, dat hij geneeskunde studeerde aan de universiteiten van Stockholm en Uppsala. Na het behalen van zijn artsexamen opende hij in 1865 het Instituut voor medico-mechanische gymnastiek in Stockholm, destijds ingericht met 25 toestellen. Aanvankelijk werden de Zander-apparaten alleen in Zweden toegepast, maar nadat ze op de wereldtentoonstellingen van Philadelphia (1876) en Parijs (1878) bekroond werden, verkregen ze ook buiten Zweden bekendheid. De eerste buitenlandse instituten werden in de tachtiger jaren opgericht, zoals het instituut in het Duitse Baden-Baden in 1884. Rond 1900 waren er Zander-Instituten van Buenos-Aires tot Moskou. Gezien de Duitse voorliefde voor para-medische geneesmethoden en Kur-Orten wekt het geen verbazing dat ruim de helft van alle instituten in Duitsland gevestigd was⁶. De patiënt die in een Zander-Instituut behandeld werd kreeg een recept van oefeningen voorgeschreven, afgestemd op zijn kwaal. Dit recept was onderverdeeld in groepen van drie oefeningen, waarvan de eerste steeds de zwaarste was, bijvoorbeeld een weerstandsoefening, en de laatste een passieve beweging of massage. Had hij een groep afgewerkt, dan nam de patiënt een minuut of vijf rust. Op het hoogtepunt van de Zander-therapie werden medico-mechanische oefeningen voorgeschreven voor tal van ziekten – van zenuwpijnen tot suikerziekte –, maar uit beschikbare statistieken blijkt, dat de behandeling het meeste succes boekte bij patiënten met kwetsuren aan de ledematen en afwijkingen in gang of lichaamshouding⁷.

Tot aan de Eerste Wereldoorlog werden veel patiënten met medico-mechanische gymnastiek behandeld, zij het met Zander-apparaten of soortgelijke gymnastiektoestellen, zoals die van Herz. Na de Eerste Wereldoorlog echter werden veel instituten gesloten, hoewel de apparatuur vaak veel langer in gebruik bleef, al



Interieur van de Amsterdamse Zander-zaal

6. Zie lijst van vestigingen in: G. Zander, *Les appareils de la gymnastique médico-mécanique Zander* (Stockholm, 1900²), p. 10-12.

7. Zie dezelfde jaarverslagen als genoemd onder 2.

was het alleen maar als aanvulling op andere therapiën. Zo werden de toestellen van het Rotterdamse Zander-Instituut, dat in 1937 werd gesloten, overgenomen door het Physico-Therapeutisch Instituut in die stad, dat pas in 1971 zijn poorten sloot, maar waar al die tijd de Zander-toestellen nog gebruikt werden. Ook het Haarlemse St. Elisabeth Gasthuis had tot rond 1948 een Zander-zaal in gebruik⁸. Het in onbruik raken van de Zander-therapie was voornamelijk het gevolg van gewijzigde opvattingen over de behandeling van patiënten. Een persoonlijker contact werd als noodzakelijk ervaren. Belangrijker echter was de opvatting dat niet alleen het zieke lichaamsdeel van de patiënt behandeld moest worden, waarvoor deze apparatuur voor gelokaliseerde bewegingen zich bij uitstek leende, maar dat daarentegen het gehele lichaam van de patiënt zó behandeld moest worden, dat het zieke deel geïntegreerd werd in het gezonde deel van het lichaam⁹.

Kritiek op Zanders uitgangspunten

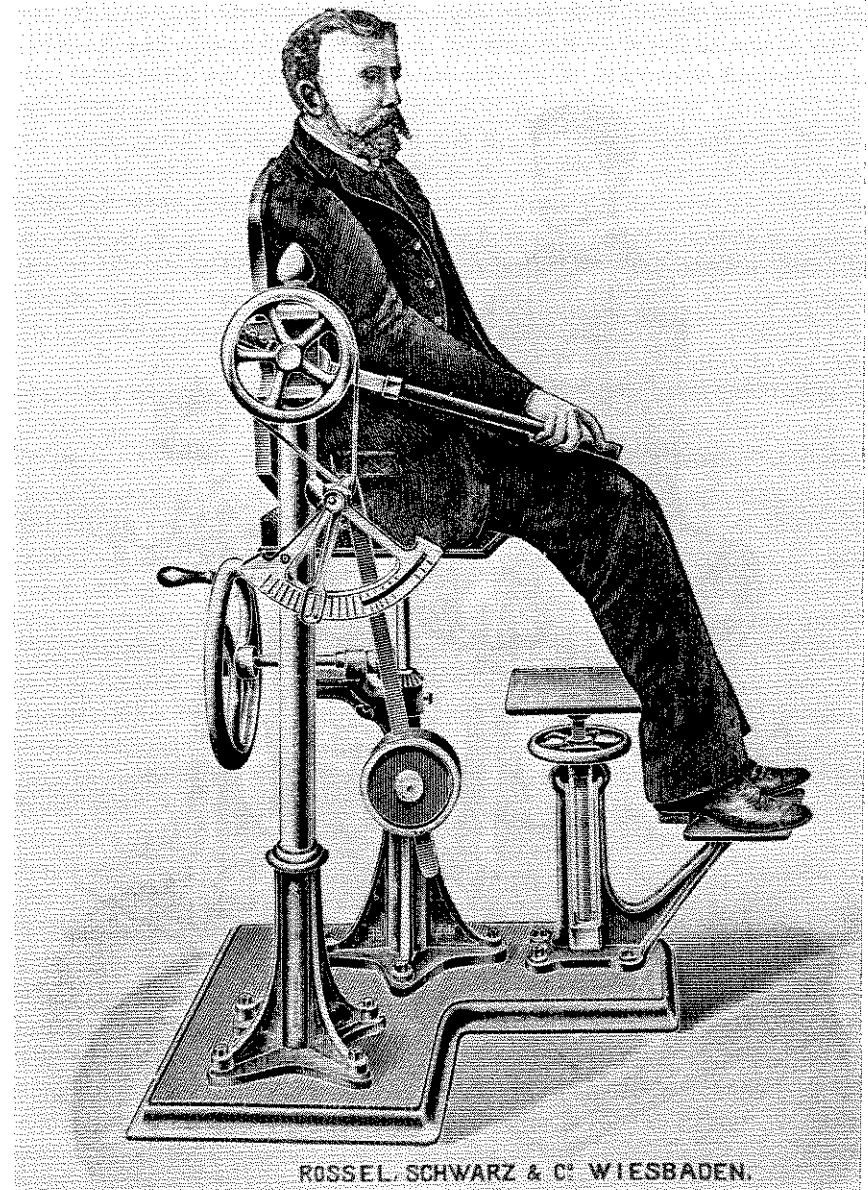
Nadat Zanders toestellen over de gehele wereld bekendheid verkregen hadden en een groot aantal artsen er zowel in de praktijk als in theorie kennis mee hadden gemaakt, kwam er vanzelfsprekend ook kritiek op het gebruik en de theoretische basis van deze gymnastiektoestellen. Ik ga hier alleen in op de kritiek, die zich op de fysiologische uitgangspunten van Zander richtte en die vooral de hefboomwet betrof.

Zanders opvatting over het verloop van de kracht van de beweging was gebaseerd op fysiologische principes, die in het midden van de 19e eeuw algemeen aanvaard waren. Het was echter ook duidelijk geworden dat deze eenvoudige principes door de anatomische opbouw van het menselijk (en dierlijk) bewegingsapparaat gemodificeerd werden. Hermann Krukenberg¹⁰ bijvoorbeeld concentreerde een deel van zijn kritiek op Zanders apparatuur op diens toepassing van de hefboomwet. In zijn *Lehrbuch der mechanischen Heilmethoden* (1896) gaat hij hier uitvoerig op in. In essentie betoogt hij dat de onderlinge ligging van de spieren, botten, pezen en gewrichten tot gevolg heeft dat de spierwerking niet in zulke eenvoudige termen als de hefboomwet stelt, beschreven kan worden. Met name de gewrichten bewerkstelligen dat de kracht van de spier aan het begin van de beweging veel gunstiger uitwerkt dan op grond van de hefboomwet te verwachten zou zijn. De gewrichten zijn n.l. vrij dik ten opzichte van de botten en fungeren daardoor voor de pezen, die de kracht van de spier overbrengen op het bot, als katrollen waardoor deze onder een relatief grote hoek aan het bot gehecht zijn. Bovendien voldoen volgens Krukenberg alleen buigspieren zoals

8. *Geneeskundig Jaarboekje voor Nederland* 65 (1948) II.

9. Zie het hoofdstuk "Oefentherapie" in: R.K.W. Kuipers et al., *Handleiding der fysieke therapie voor fysiotherapeutische hulpmiddelen* (Ned. Gen. Heilg., Massage en Physio-techn., 1959).

10. Geen biografische gegevens gevonden.



Dynamometer van Herz

de *M. biceps brachii*, aan de hefboomwet en dan nog maar gedurende een deel van de beweging. Strekspieren daarentegen, zoals de *M. triceps brachii*, werken helemaal niet volgens de hefboomwet. Bij deze spieren wordt de kracht van de zich samentrekkende spier steeds overgebracht via de als katrollen fungerende gewrichten.

Krukenberg stelde zelf experimenteel vast hoe het krachtsverloop is bij het buigen van de onderarm t.o.v. de bovenarm in horizontale, gestrekte stand van de arm. Het bleek hem, dat de kracht aan het begin van de beweging bijna even groot is als op het moment dat onder- en bovenarm een rechte hoek met elkaar maken. Pas als de hoek kleiner wordt, wanneer onder- en bovenarm elkaar dus dichter naderen, neemt de kracht van de beweging af¹¹. Dit is een heel ander krachtsverloop dan waar Zander van uitging.

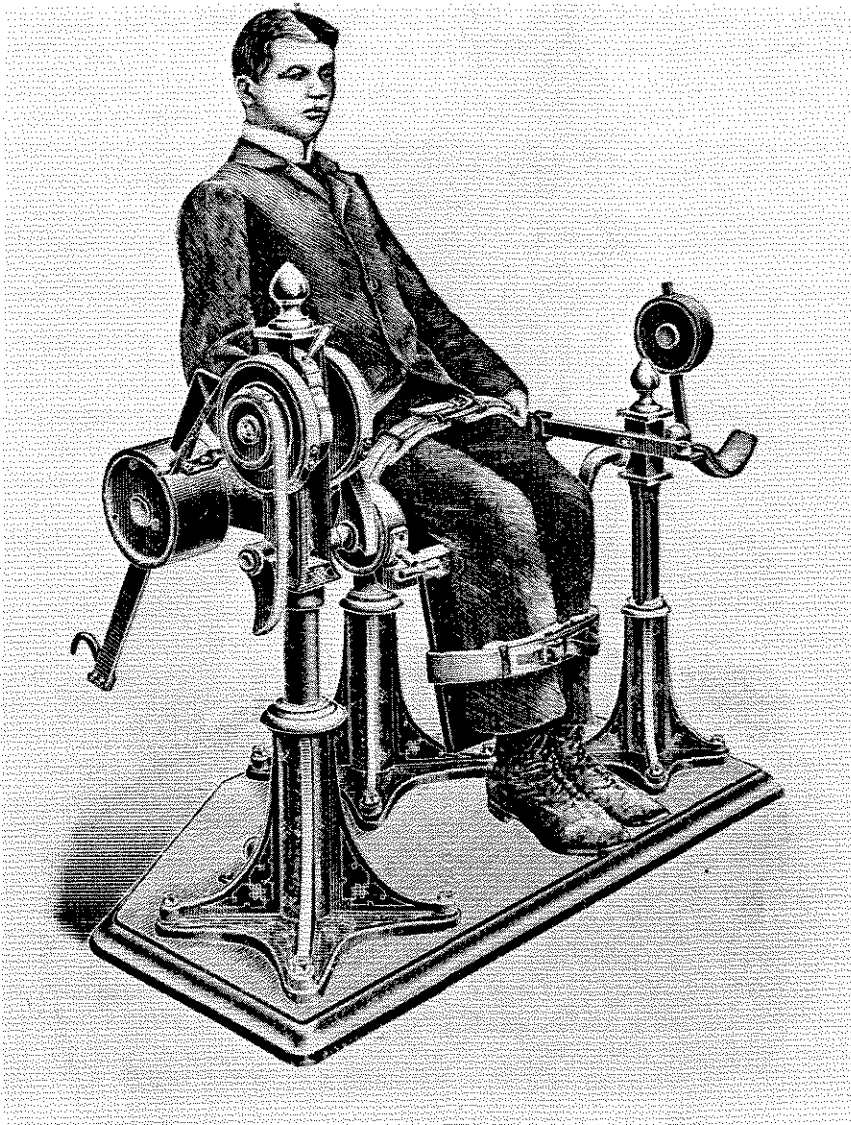
Krukenberg bepaalde het krachtsverloop van de beweging slechts in dit ene geval maar zijn Weense collega Max Herz¹² zette het onderzoek voort. Herz was gefascineerd door de kwantitatieve benadering van fysiologische processen¹³, die in de tweede helft van de 19e eeuw geleid had tot nieuwe diagnostische apparatuur als de koortsthermometer en de bloeddrukmeter. Het lag dan ook voor de hand dat hij de kwalitatieve gegevens van Krukenberg, met wie hij het bovendien geheel eens was in diens kritiek op Zanders uitgangspunten, in maat en getal wilde vastleggen.

Om het onderzoek naar het krachtsverloop uit te kunnen voeren construeerde Herz een speciale kracht- of dynamometer (zie figuur 4). De maximale kracht op een bepaald moment van de beweging definieerde hij daarbij als de maximale weerstand die op dat moment nog overwonnen kan worden. De dynamometer was zo ingericht dat de proefpersoon bij het uitvoeren van een bepaalde beweging, bijvoorbeeld het buigen van de onderarm, een gewicht heft middels een hefboom. Het apparaat liet slechts een kleine verplaatsing van de arm van de proefpersoon toe voordat de maximale weerstand, die hij in die stand van de beweging kon overwinnen, bereikt was. De grootte van deze weerstand is afhankelijk van het gewicht op de hefboom en de uitslag ervan (last maal arm), welke laatste op een schaalverdeling op het apparaat afgelezen werd. Uit deze twee gegevens werd dan de weerstand berekend. Vervolgens werd het apparaat op een nieuwe stand ingesteld en begon de procedure van voren af aan. Herz verrichte deze metingen in een achttal standen van de beweging en legde de resultaten vast in wat hij gewrichtsspierdiagrammen noemde. Dit onderzoek werd o.a. in zijn *Lehrbuch der Heilgymnastik* (1903) gepubliceerd. Herz onderscheidde op grond van zijn gewrichtsspierdiagrammen in het krachtsverloop van de bewegingen een

11. H. Krukenberg, *Lehrbuch der mechanischen Heilmethoden* (Stuttgart, 1896), p. 126-127.

12. Biografische gegevens in: J. Fischer, *Biographisches Lexicon der hervorragende Aerzte der letzten fünfzig Jahre* (Berlijn/Wenen, 1932) Band I.

13. Herz, *Lehrbuch* . . . , p. 21.



Herz-toestel voor het heffen van de onderbenen

aantal verschillende typen, die in de meeste gevallen afweken van het sinusoïde verloop waar Zander van uit ging. Bij abductie (zijwaarts bewegen) van het been bijvoorbeeld is de kracht van de beweging aan het begin ervan het grootst en neemt geleidelijk af.

Herz ontwierp op grond van deze bevindingen ook zelf gymnastiekapparaten voor weerstandsoefeningen, waarbij het verloop van de weerstand berekend was met behulp van zijn diagrammen. De last die de patiënt moest verplaatsen bestond bij zijn apparaten uit een gewicht, dat tegen een helling opgetrokken werd (zie figuur 5). Door de hellingshoek te variëren kon de mate van weerstand gedoseerd worden. Een speciaal overbrengingssysteem zorgde ervoor dat de kracht van de beweging van de patiënt gebruikt werd om de last tegen de helling op te trekken. Het essentiële onderdeel van deze overbrenging is het excentriek, een schijf waarvan het draaipunt buiten het middelpunt ligt, zodat de afstand van het draaipunt tot de omtrek overal verschillend is. Dit effect werd door Herz nog versterkt door de omtrek van de schijf niet in de vorm van een cirkel te geven, maar van een speciale curve, berekend met behulp van zijn gewrichts-spijdiagrammen. Wanneer het excentriek draait verandert de afstand tot het aangrijpingspunt van de last, zodat de weerstand voor de patiënt varieert, daar die weerstand steeds gelijk is aan last maal arm (de afstand van het draaipunt van het excentriek tot de omtrek). Herz ontwierp op basis van dit principe een groot aantal gymnastiekapparaten voor weerstandsbewegingen¹⁴, waarbij het excentriek in alle gevallen iets verschillend was. Bovendien ontwierp hij, evenals Zander, een serie toestellen voor passieve bewegingsoefeningen en massage, met andere woorden zijn apparatuur was bedoeld om er de Zweedse gymnastiek mee te beoefenen.

Naweeën van Herz' onderzoek

De geuite kritiek en zeker ook de produktie van concurrerende apparatuur, zoals die van Herz en Krukenberg, ontlokten Zander, bij monde van zijn zoon Emil, die in zijn voetsporen was getreden, wel enig weerwoord¹⁵. Emil wees erop dat Herz' diagrammen bij maximale belasting van de spier gemeten waren en opperde de mogelijkheid dat het krachtsverloop bij geringere belasting anders zou zijn. Bovendien had Herz slechts op een beperkt aantal punten gemeten, dit ontlokte Emil de vraag of bij continue beweging het krachtsverloop inderdaad de verbindinglijn van de gemeten punten zou volgen. Hij kon deze vraagpunten niet substantiëren, maar wees de Herz-apparatuur toch af op grond van het feit dat de patiënten het verloop van de weerstand op deze apparatuur als onaangenaam ervoeren, zulks in tegenstelling tot het verloop van de weerstand op de Zander-

14. Herz, *Lehrbuch* . . . , p. 290-319.

15. E. Zander, "Schwedische Heilgymnastik" in: A. Goldscheider, P. Jacob, *Handbuch der physikalischen Therapie* (Leipzig, 1901) I, 2e band.

toestellen¹⁶. Daar kwam nog bij dat de patiënt op de Herz-apparaten zijns inziens veel minder goed gefixeerd werd dan op die van Zander, zodat elke oefening tal van nevencontracties opriep, wat geheel inging tegen de eis van de Zweedse gymnastiek om de beweging zoveel mogelijk te isoleren.

In Nederland werd het onderzoek van Herz door de Haagse arts en directeur van het Zander-Instituut aldaar, J.G.O. Reys (1883-1948), voortgezet. Gedurende tal van jaren verrichtte Reys onderzoek naar verschillende aspecten van de krachtsontwikkeling van de zich contraherende spier¹⁷. Hij liet een dynamometer naar eigen ontwerp bouwen en voerde daarmee dezelfde proeven als Herz uit, waarbij hij echter iets andere resultaten verkreeg¹⁸. Zijn gewrichts-spijdiagrammen lieten ongeveer hetzelfde patroon zien als de diagrammen van Herz, maar zij hadden een veel vlakker verloop. Reys vond m.a.w. een veel kleiner verschil tussen de maximale en minimale weerstand die de proefpersoon gedurende de beweging kan overwinnen. Hij kon niet aangeven waar dit door veroorzaakt werd, maar opperde dat vermoeienis van de proefpersonen en meer of mindere immobilisatie van de overige lichaamsdelen een rol konden spelen.

Conclusie

Essentieel in Zanders uitgangspunten voor de constructie van gymnastiektoestellen was zijn opvatting over het verloop van de kracht van de beweging, die hij baseerde op de wet van Schwann en de hefboomwet. De mechanische uitwerking van de zich contraherende spier stond vooral in het midden van de 19e eeuw centraal in het onderzoeksterrein van fysiologen als de gebroeders W. en E. Weber en A. Fick. Deze problematiek verdween naderhand grotendeels uit de aandacht van spierfysiologen, die zich steeds meer concentreerden op de electro-fysiologische verschijnselen, die met spiercontracties gepaard gaan en het metabolisme van de spier. Slechts enkele onderzoekers bleven geboeid door de mechanische aspecten van de spierwerking, welke aandacht bovendien vaak, als gevolg van beroepsmatige interesse, de heilgymnastiek, gericht was op de maximale arbeidsprestatie van de spier. Deze onderzoekers, zoals Herz en Reys, gingen er immers van uit dat het oefenen van een spier bij maximale inspanning het beste resultaat zou opleveren. Toen de opvatting had postgevat dat integratie van een ziek lichaamsdeel belangrijker was dan het brengen tot maximale prestaties van dit lichaamsdeel, werd dan ook het onderzoek naar het krachtsverloop van de beweging niet langer voortgezet.

16. Krukenberg, *Lehrbuch* . . . , p. 127.

17. J.H.O. Reys, "Over de absolute kracht van spieren in het menselijk lichaam", *Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde* 56 (1912) IIA, p. 1121-1129; idem, "Over de verandering der kracht tijdens de beweging", *Ned. T. Geneesk.* 64 (1920) 1B, p. 2265-2275. idem, "Over de verandering van kracht tijdens de beweging" *Ned. T. Geneesk.* 76 (1923) 1B, p. 835-837.

18. Reys, "Over de verandering" (1920).