

Kennisencapsulatie

Henk G. Schmidt en Henny Boshuizen

*Rijksuniversiteit Limburg**

ABSTRACT

In this article, an attempt is undertaken to make the case for a new mechanism of learning, encapsulation of declarative knowledge. This mechanism would explain and unify a number of as yet not related empirical findings reported in the medical expertise literature. It is demonstrated that this mechanism can be held responsible for the decrease of references to causal, underlying, biomedical principles in think-aloud studies of subjects of different levels of expertise diagnosing cases. In addition, it is shown that encapsulation of the knowledge base is the mechanism underlying such diverse phenomena as intermediate effects in post-hoc pathophysiological explanation of clinical cases and the emergence of inferences in free recall of those cases as expertise unfolds. Implications for education are discussed.

INLEIDING

Dit artikel houdt zich bezig met de kennisstructuren van experts en gevorderde studenten. Meer in het bijzonder beschrijft het hoe die kennisstructuren veranderen onder invloed van toepassing ervan op taken die voor een bepaald domein karakteristiek zijn. Het probeert te laten zien hoe ervaring met die taken niet alleen kwantitatieve, maar vooral ook kwalitatieve effecten heeft op de wijze waarop betrokkenen hun kennis van het domein representeren.

Het domein dat ons interesseert is dat van de geneeskunde. De ontwikkeling van medische expertise is een aantrekkelijk studieobject omdat het in onze opvatting een prototype vormt van hoe expertise zich in zijn algemeenheid vormt. Zoals bij andere terreinen die potentieel van belang zijn, waaronder het oplossen van natuurkundige problemen (Chi, Feltovich, & Glaser), het reconstrueren van historische gebeurtenissen (Whineburg, 1991) of het begrijpen van problemen uit de sociale wetenschappen (Voss, Greene, Post, & Penner, 1983) zijn de problemen die experts in de geneeskunde tegenkomen, moeilijk precies te definiëren en kost het vele jaren om een acceptabel beheersingsniveau te bereiken. Boshuizen (1989) heeft geschat dat ongeveer 20.00 uur studie en praktijkervaring nodig zijn om een ervaren huisarts te worden. Daarnaast bestaat de medische praktijk – althans het gedeelte daarvan dat ons interesseert – uit diagnostisch redeneren, gebaseerd op veronderstelde onderliggende principes of mechanismen. Veel problemen waarmee mensen (expert of niet) geconfronteerd worden, vereisen een soort diagnose van de situatie op basis van conceptuele kennis teneinde die situatie te kunnen karakteriseren en op een adequate wijze te kunnen handelen. Het doel van dit artikel is, te verklaren hoe medische studenten en artsen betere diagnostici worden als gevolg van ervaring. We nemen daarbij aan dat medische diagnose een activiteit is die conceptuele kennis vereist, eerder dan een verzameling heuristieken; dat studenten en artsen, als ze met een patiënt geconfronteerd worden, relevante kennis activeren die hen in staat stelt de symptomen en klachten van die patiënt te representeren in termen van een of ander onderliggend proces. Onze interesse gaat uit naar de aard van die kennisstructuren, naar hoe zij zich ontwikkelen en hoe zij gebruikt worden.

In dit artikel zullen wij data presenteren die duiden op de werkzaamheid van een cognitief mechanisme dat wij als “encapsulatie” of inkapseling van kennis hebben omschreven (Boshui-

* Adres: Vakgroep Onderwijsontwikkeling en Onderwijsresearch, postbus 616, 6200 MD Maastricht.

Dit artikel is een bewerking van een lezing, gehouden tijdens een NATO Advanced Scientific Research Workshop “Advanced Models of Cognition for Medical Training and Practice,” in Castelveccchio Pasoli, Italië, Juni 1991.

zen en Schmidt, 1992; Schmidt en Boshuizen, 1993a). Wij veronderstellen dat kennisencapsulatie een sleutelrol speelt bij de transitie van gevorderde naar expert in het medische domein, en niet alleen daar. Eerst wordt echter een kort en toegespitst overzicht gegeven van wat we weten over menselijke kennis en hoe die kennis verworven en gebruikt wordt.

KENNIS, KENNISGEBRUIK EN LEERMECHANISMEN

Betrekkelijk veel is bekend over hoe bestaande kennis het begrijpen van nieuwe informatie beïnvloedt, en welke factoren een rol spelen bij de activatie van die kennis. Onderzoek van Bransford en Johnson (1972) met betrekking tot contextuele activatie, Pichert en Andersons (1977) werk met betrekking tot effecten van het innemen van een bepaald perspectief bij het bestuderen van teksten, de experimenten van Spilich, Vesonder, Chiesi en Voss (1979) over hoe proefpersonen met veel en weinig voorkennis teksten onthouden, en de studies naar verschillen tussen experts en novieten in verschillende domeinen (e.g., Chase & Simon, 1973; Chi, Feltovich, & Glaser, 1981; Lesgold, 1984), tonen aan dat de specifieke kennis die personen van een bepaald domein hebben in hoge mate prestaties in dat domein bepalen. Minder is echter bekend over de precieze aard van de kennisstructuren die deze prestaties mogelijk maken. Onze kennis over hoe die structuren eruit zien is grotendeels theoretisch van aard en object van voortgaand debat. Niet alleen ons begrip van de *structuur* van menselijke kennis is nog in flux; hetzelfde kan gezegd worden van wat we weten over de mechanismen die mensen in staat stellen te *leren*. Er zijn voldoende ideeën over hoe nieuwe kennis verworven wordt, maar weer zijn die ideeën vooral theoretisch van aard, hebben weinig empirische basis en hebben daarom vooral heuristische waarde. We zullen opvattingen over de structuur van menselijke kennis en de mechanismen die verantwoordelijk geacht worden voor de ontwikkeling van die kennis hieronder bespreken.

In 1978 publiceerden Rumelhart en Norman een bijdrage aan een boek die getiteld was: "Accretion, tuning, and restructuring: Three modes of learning". Dit hoofdstuk vormde een min of meer complete weergave van wat rond 1980 gedacht werd over hoe mensen nieuwe kennis verwerven en incorporeren in hun bestaande structuren. Volgens beide auteurs heeft onze kennis van de wereld een schematische vorm (Schank & Abelson, 1977; Minsky, 1975) en is het begrijpen van de wereld in essentie schema-instantiatie. Schemata bevatten variabelen en informatiehouders ("slots"). Een situatie die begrepen moet worden, activeert een passend schema en de bijzondere kenmerken van die situatie vullen de slots van de verschillende variabelen die het schema vormen. Als echter het schema niet geheel past op de situatie die begrepen moet worden, worden elementen aan het schema toegevoegd. Rumelhart en Norman noemen dat proces *accretie*; het bestaande schema wordt uitgebreid zodat het gebruikt kan worden bij het begrijpen van een bredere klasse van situaties. Als gevolg van toenemende ervaring ontwikkelen schemata zich. Daarbij is het mogelijk dat de toegestane reeks van mogelijke waarden die variabelen kunnen aannemen kleiner wordt (specialisatie) of juist groter (generalisatie). Daarnaast neemt kennis over de condities waaronder een schema toepasbaar is, toe (conditionalisatie). Specialisatie, generalisatie en conditionalisatie tezamen vormen een leermechanisme dat Rumelhart en Norman (1978) "*tuning*" noemen, een proces waarbij een schema op een iteratieve wijze steeds beter de werkelijkheid representeert en waarbij de condities waaronder dat schema geactiveerd wordt steeds scherper gedefinieerd raken. Een derde mechanisme dat ze onderscheiden is *herstructurering*. Herstructurering van het kennisbestand treedt op als bestaande schemata tekort schieten bij het representeren van een bepaalde situatie, gebeurtenis of probleem. Het daaruit voortvloeiende elaboratieproces kan ertoe leiden dat geheel nieuwe schemata geconstrueerd worden die niet meer eenvoudig herleidbaar zijn tot de bestaande.

Een belangrijk bezwaar dat tegen schematheoretische verklaringen van leren kan worden ingebracht, is dat mensen in staat blijken dingen te leren waarvoor zij geen al bestaande schemata beschikbaar hebben¹. Daarnaast blijkt het bijzonder lastig te definiëren wat schemata eigenlijk zijn (Alba & Hasher, 1983).

Anderson (1983, 1987) heeft een theorie geformuleerd die meer expliciet de aard van de veranderingen in de kennis onder invloed van ervaring beschrijft. Zijn ACT*-theorie veronderstelt dat kennis in eerste instantie in declaratieve vorm is opgeslagen. Dergelijke kennis is niet automatisch bruikbaar. Spreidende activatie en elaboratie zijn mechanismen die mensen in staat stellen te interacteren met hun omgeving. Die interactie verloopt moeizaam omdat ze deels plaats vindt onder controle van het bewustzijn. Als gevolg echter, van herhaalde toepassing van declaratieve proposities wordt langzamerhand procedurele kennis gevormd in de vorm van *produkties*. Produkties zijn regels die specificeren welke acties ondernomen moeten worden als aan bepaalde condities voldaan is. Dit proces wordt door hem *proceduralisatie* genoemd. Anderson postuleert echter nog een ander leermechanisme dat voor dit artikel van belang is. Hij veronderstelt dat, onder invloed van verdere oefening, de ontstane procedurele kennis, gerepresenteerd als een set produkties, als het ware "indikt" tot een kleiner aantal, meeromvattende, produkties. Hij noemt dit proces *kenniscompilatie*². Proceduralisatie en compilatie zijn ervoor verantwoordelijk dat taken die eerst moeizaam en met veel fouten uitgevoerd worden, na verloop van tijd automatisch, snel en zonder fouten worden uitgevoerd. Experts hebben, in deze visie, de beschikking over een uitgebreid procedureel kennisbestand dat verregaand gecompileerd is.

KENNISENCAPSULATIE

De notie van kenniscapsulatie is door ons in eerste instantie geïntroduceerd teneinde een aantal verschijnselen die in de medische expertiseliteratuur worden beschreven te kunnen verhelderen; ontwikkelingsfenomenen die moeilijk te begrijpen lijken met behulp van begrippen als proceduralisatie of compilatie. Die bevindingen worden hieronder beschreven, eerst zullen we het begrip kenniscapsulatie nader proberen te omschrijven.

In Schmidt en Boshuizen (1993a) wordt encapsulatie gedefinieerd als een leermechanisme dat bestaat uit de voortschrijdende onderordering, of "verpakking", van lagere-orde begrippen en hun relaties in een declaratief kennisbestand, onder een kleiner aantal concepten of proposities van hogere orde, die dezelfde verklaringskracht hebben. Een voorbeeld. In de context van onderzoek naar de constructie van verklarende modellen op het terrein van de biologie, werd middelbare scholieren gevraagd een verklaring te geven waarom een bloedlichaampje in zuiver water opzwelt en barst, terwijl het in een zoutoplossing krimpt (Schmidt, Spaaij, & De Grave, 1988; Schmidt, De Grave, De Volder, Moust, & Patel, 1989). Scholieren die net een introductie in het onderwerp osmose achter de rug hadden, gaven zeer gedetailleerde verklaringen die een groot aantal relevante concepten bevatten, zoals Brownse beweging van moleculen, concentratieverschillen, diffusie van stoffen in water, de semipermeabiliteit van celmembranen, osmotische druk en turgor. Scholieren echter die al meer ervaring hadden opgedaan met vergelijkbare problemen, gaven veel meer gecondenseerde verklaringen, waarbij gebruik werd gemaakt van meer omvattende concepten. Eén leerling gaf als verklaring: "Dit is een voorbeeld van osmose". Voor deze leerling was het begrip osmose een voldoende verklaring voor de verschijnselen, een verklaring die geen verdere elaboratie nodig heeft. Osmose was voor haar rijk aan betekenis; het sluit meer gedetailleerde verklaringen in; die zijn als het ware in dat begrip verpakt. Onze theorie is dat deze encapsulatie het resultaat is van herhaalde activatie van lagere-orde verklaringen in response op vergelijkbare taken. Na verloop van tijd, en als gevolg van confrontatie met vergelijkbare taken, raken die verklaringen steeds meer ingekapseld in een kleine set van encapsulerende begrippen met vergelijkbare verklaringskracht. We nemen daarbij aan dat die lagere-orde begrippen uiteindelijk niet meer geactiveerd worden in de confrontatie met nieuwe taken, omdat ze niet meer nodig zijn bij het begrijpen of oplossen van die nieuwe opgaven.

Dus, net als compilatie is encapsulatie het resultaat van herhaalde toepassing van kennis bij het begrijpen van situaties of het oplossen van problemen. Er zijn echter ook verschillen tussen compilatie aan de ene en encapsulatie aan de andere kant. Kenniscompilatie opereert op een procedureel kennisbestand waarbij een grotere set van produkties wordt gereduceerd tot een

kleinere set. Het encapsulatieconcept doet geen aannames die omzetting van declaratieve kennis in procedurele vereisen voordat de efficiëntie van het denkproces kan worden bevorderd. Het opereert in een declaratief kennisbestand, waarbij onder invloed van ervaring moleculaire concepten en hun interrelaties langzamerhand worden gecondenseerd tot een kleinere verzameling moleculaire begrippen. De functie van encapsulatie is niet het trimmen van het kennisbestand door middel van specialisatie en generalisatie, maar het versnellen van de verwerking van nieuwe informatie. Daar meer grofkorrelige, omvattende, begrippen gebruikt worden bij het denken over de wereld, kan het begrijpen daarvan sneller en met minder fouten plaatsvinden. Tenslotte is geëncapsuleerde kennis onmiddellijk weer beschikbaar in geëlaboreerde vorm als de taak daarom mocht vragen (Schmidt & Boshuizen, 1993b). Procedurele kennis in gecompileerde vorm, daarentegen, is ontoegankelijk geworden voor gebruik in geëlaboreerde vorm.

AANWIJZINGEN VOOR KENNISENCAPSULATIE

We hebben al gezegd dat kennisencapsulatie werd geïntroduceerd ter verklaring van een aantal empirische verschijnselen die met name in de medische expertise literatuur gerapporteerd worden. Het betreft hier drie op het eerste gezicht ongerelateerde bevindingen, die nog geen bevredigende verklaring gevonden hebben. Onze poging is gericht op unificatie. Wat we willen aantonen is dat die fenomenen een gemeenschappelijke oorzaak hebben. De drie empirische verschijnselen waarop gedoeld wordt, zijn:

1. Afwezigheid van referenties naar onderliggende biomedische mechanismen in hardop-denken protocollen van ervaren artsen. Dit in tegenstelling tot de protocollen van gevorderde studenten (Boshuizen en Schmidt, 1992; Patel, Evans en Groen, 1989),
2. "Intermediate" effecten in post-hoc causale verklaringstaken³ (Schmidt en Boshuizen, 1993a)
3. De aanwezigheid van inferenties in de "recall" van gevalsbeschrijvingen door ervaren artsen in contrast met de "recall" van beginners en gevorderden (Boshuizen, 1989; Groen en Patel, 1988; Patel en Frederiksen, 1984).

We zullen deze verschijnselen in de navolgende paragrafen bespreken en laten zien dat ze elk verklaard kunnen worden uit de toenemende encapsulatie van het kennisbestand zodra expertise toeneemt voorbij het niveau van de gevorderde student. Tenslotte zullen we enkele implicaties bespreken.

Afwezigheid van biomedische redeneringen in hardop-denken protocollen van experts

Naturalistische observaties en hardop-denken studie laten zonder uitzondering zien dat ervaren experts maar beperkt gebruik maken van biomedische kennis bij het redeneren over patiëntenproblemen. Patel et al. (1989), die een groot aantal studies op dit terrein bespreken, concluderen dat ervaren artsen in belangrijke mate lijken te denken over patiënten in termen van klinische begrippen en klinische manifestaties van ziekte. Studenten daarentegen, maken uitgebreid gebruik van biomedische begrippen als zij over een ziektegeval redeneren. Boshuizen, Schmidt en Coughlin (1988), die een hardop-denken strategie gebruikten, lieten zien dat huisartsen zelden naar biomedische concepten refereren wanneer zij hardop over een geval nadenken, terwijl studenten dat nu juist wel doen. Figuur 1 toont een prototypische bevinding. De figuur laat de proportie biomedische proposities (= uitspraken) zien, geproduceerd door tweedejaars, vierdejaars en vijfdejaars studenten en huisartsen, terwijl ze hardop over een geval van pancreatitis nadachten. De figuur illustreert het fenomeen duidelijk. Wanneer expertise toeneemt, neemt ook het gebruik van biomedische kennis eerst toe (wat geheel volgens verwachting is) om vervolgens drastisch af te nemen.

Dit is een ietwat tegenintuïtieve bevinding, omdat theorieën die zich bezighouden met de ontwikkeling van expertise (e.g., Chi, Glaser, & Farr, 1988) alle uitgaan van een min of meer monotone uitbreiding van diepe, causale kennis van een domein en van de aanname dat het deze

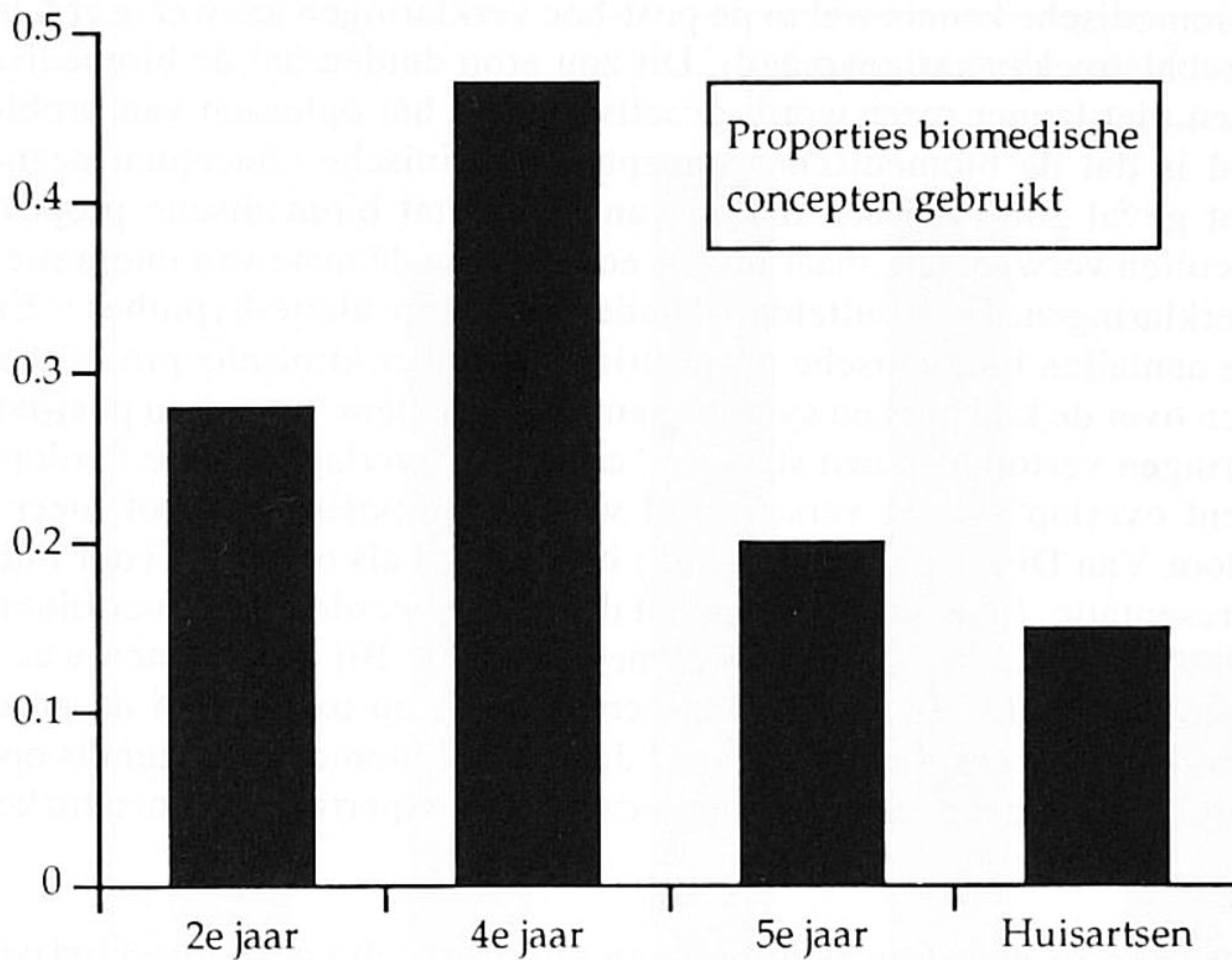


Fig. 1. Gemiddelde proporties biomedische concepten geproduceerd in hardop-denk protocollen als functie van expertise (Boshuizen, Schmidt, & Coughlin, 1988).

diepe kennis is die verantwoordelijk is voor het optreden van expertgedrag. Met andere woorden: men zou meer van dezelfde kennis verwachten bij meer ervaren personen in plaats van een andere soort kennis. Boshuizen en Schmidt (1992) veronderstellen dat drie elkaar uitsluitende cognitieve ontwikkelingsprocessen dit fenomeen kunnen verklaren. De eerste is dat voorbij een bepaald niveau van expertise biomedische kennis *rudimentair* wordt.; grote delen van die kennis (in het bijzonder gedetailleerde kennis) zou voor de expert niet meer terug te halen zijn uit het geheugen. Een tweede mogelijkheid is dat die kennis *inert* wordt; zij is er nog wel en is ook wel oproepbaar, maar wordt niet langer meer gebruikt. De kennis kan alleen geactiveerd worden wanneer deze direct aangesproken wordt. Een derde mogelijkheid tenslotte, is dat in de loop van de jaren biomedische kennis *geëncapsuleerd* raakt en in klinische begrippen geïntegreerd wordt. Dat wil zeggen dat experts dan wel voornamelijk klinische begrippen gebruiken, maar dat die kennis gedetailleerde biomedische kennis verpakt. Deze drie hypothesen werden getest onder gebruikmaking van een gecombineerde “on-line” en “post-hoc” methodologie. Twintig proefpersonen die een verschillend niveau van expertise bezaten, kregen een verzameling van 48 kaartjes voorgelegd die de klachten en symptomen bevatten van een patiënt lijdend aan subacute pancreatitis. Hen werd gevraagd hardop te denken terwijl ze de informatie die op de kaartjes stond op een sequentiële wijze verwerkten. Dit was het on-line gedeelte van het onderzoek. Nadat deze taak was afgerond, werd hen gevraagd een diagnose te stellen. Tenslotte werd hen verzocht de klachten en symptomen die men zojuist verwerkt had, te verklaren in termen van onderliggende pathofysiologische processen. De hardop-denk en pathofysiologie protocollen van alle proefpersonen werden in proposities ontleed. Elke propositie werd vervolgens als klinisch of biomedisch geclassificeerd. Tenslotte werden beide protocollen met elkaar vergeleken. De veronderstelling was dat als biomedische kennis rudimentair geworden zou zijn bij experts, een daling gevonden zou moeten worden van deze categorie van informatie in zowel de on-line als de post-hoc verzamelde protocollen. Als echter de biomedische kennis nog wel aanwezig is, maar niet langer wordt gebruikt door experts, dan zou men een daling van deze categorie in de hardop-denk protocollen moeten verwachten (de kennis wordt immers niet meer

gebruikt), terwijl biomedische kennis wel in de post-hoc verklaringen aanwezig zou moeten zijn (er wordt immers rechtstreeks naar gevraagd). Dit zou erop duiden dat de biomedische kennis inert geworden is en niet langer meer wordt geactiveerd bij het oplossen van problemen. Een derde mogelijkheid is dat de biomedische concepten in klinische concepten geëncapsuleerd geraakt zijn. In dat geval zou men een daling van het aantal biomedische proposities in de hardop-denken protocollen verwachten, maar tevens een groei in de mate van integratie tussen online en post-hoc verklaringen. De resultaten steunden de encapsulatie-hypothese. Experts produceerden kleinere aantallen biomedische proposities – en meer klinische proposities – terwijl ze hardop nadachten over de klachten en symptomen van de patiënt, maar hun post-hoc pathofysiologische verklaringen vertoonden een sterkere “argument overlap” met de hardop-denken protocollen. “Argument overlap” is het verschijnsel waarbij proposities één of meer concepten delen. Het wordt door Van Dijk en Kintsch (1983) beschouwd als een maat voor integratie van een cognitieve representatie. In de protocollen van de experts werden dus meer biomedische en klinische proposities gevonden die concepten gemeen hadden. Bij de novieten was de overlap tussen beide protocollen slechts 14,9%. Dit percentage liep op tot 56,2 in de groep experts. Boshuizen en Schmidt (1992) concluderen daaruit dat experts biomedische kennis op impliciete (“tacit”) wijze gebruiken, omdat deze kennis onderweg naar expertise in klinische kennis geëncapsuleerd raakt.

“Intermediate” effecten in post-hoc verklaringen van klinische gevalsbeschrijvingen

Aanwijzingen dat encapsulatie van het kennisbestand verantwoordelijk zou kunnen zijn voor veranderingen die in de ontwikkeling van studenten tot experts geconstateerd kunnen worden, zijn deels gebaseerd op onderzoek naar de wijze waarop personen van verschillend expertiseniveau gevalsbeschrijvingen cognitief representeren. In deze studies wordt van proefpersonen gevraagd een tekst van ongeveer een halve pagina, die de klachten en symptomen van een patiënt beschrijft, gedurende een paar minuten te bestuderen. Nadat de tekst verwijderd is, wordt hen gevraagd om (1) de meest waarschijnlijke diagnose voor deze patiënt te geven, (2) alles wat zij zich van de tekst herinneren op te schrijven, en (3) de symptomen en klachten te verklaren in termen van onderliggende causale pathofysiologische processen, principes of mechanismen. Aangenomen wordt dat datgene wat proefpersonen zich herinneren van de tekst een afbeelding is van hun representatie van het probleem, daar de aard en de hoeveelheid herinnerde tekst afhankelijk zijn van de aard van de geactiveerde kennisstructuren die zijn ingezet bij het begrijpen van de gevalsbeschrijving (Kintsch en Greeno, 1985). Daarnaast wordt aangenomen dat het protocol dat de pathofysiologische verklaring bevat een representatie vormt van de kennis die actief was bij het verwerken van de informatie uit de gevalsbeschrijving (Patel en Groen, 1986). Gewoonlijk worden zowel de “recall” als het pathofysiologische protocol gesegmenteerd in een verzameling proposities. Het aantal proposities dat onthouden of geproduceerd is wordt geteld en hun interrelatie worden grafisch gerepresenteerd als een associatief netwerk.

In het kader van dit artikel zijn we in het bijzonder geïnteresseerd in de post-hoc verklaringen die door personen geproduceerd worden. Schmidt en Boshuizen (1993a) presenteerden een beschrijving van een door Patel en Groen (1986) ontwikkeld geval van acute bacteriële endocarditis aan vijf groepen proefpersonen, variërend van eerstejaars studenten gezondheidswetenschappen tot en met internisten. Het probleem beschrijft de lotgevallen van een werkeloze jongeman die bij de eerste hulp van een ziekenhuis komt omdat hij hoge koorts heeft. Hij klaagt erover dat hij zich uitgeput voelt en grote moeite heeft trappen te bestijgen. Hij is ook kortademig. De arts vindt puntwondjes aan de linker binnenkant van de arm van de jongeman, volgens deze veroorzaakt doordat hij door een kat gebeten is. Bij onderzoek blijkt hij 41 ° C te hebben en een zeer lage bloeddruk. In het hart is een ruis hoorbaar. In de urine worden bloedcellen gevonden. Hij klaagt verder over verlies van zicht gedurende korte perioden. Als deel van dit experiment is de proefpersonen, zoals gezegd, gevraagd een verklaring te geven voor deze symptomen in termen van hun onderliggende pathofysiologie. Schmidt en Boshuizen vonden in die verklaringen een sterk intermediate effect. Vierde- en zesdejaars geneeskundestudenten produceerden veel uitgebreidere en meer gedetailleerde verklaringen dan zowel de studenten

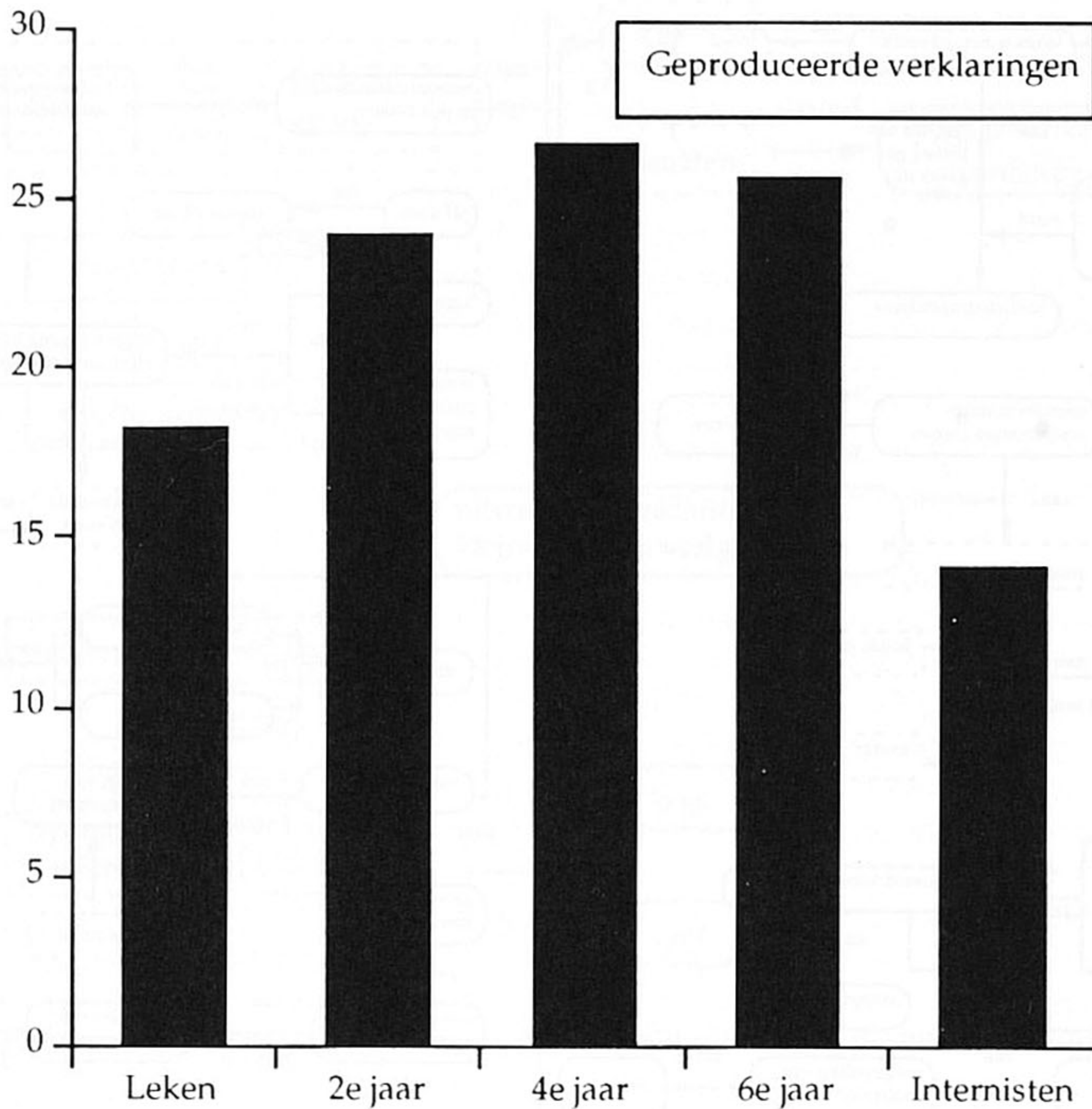


Fig. 2. Gemiddelde aantallen verklarende proposities in post-hoc protocollen (Schmidt & Boshuizen, 1993).

gezondheidswetenschappen en de artsen. In Figuur 2 zijn de aantallen verklarende proposities weergegeven die door de verschillende groepen geproduceerd werden.

Figuur 2 laat zien dat de verklaringen die door de internisten werden gegeven in hoge mate gecondenseerd waren. De vierdejaars medische studenten produceerden bijna twee keer zoveel proposities als de experts.

Figuur 3 en 4 bevatten voorbeelden van verklaringen die gegeven werden door een vierdejaars student en een internist. Het protocol van de student bestond uit 35 proposities. Elke propositie bestaat uit twee concepten of knopen ("nodes") die met elkaar verbonden zijn door middel van een kwalificatie van die relatie ("qualifier"). Deze relaties kunnen causaal (cau) van aard zijn, conditioneel (cond), temporeel (temp) of attributioneel (att). Daarnaast kunnen ze een locatie aanduiden (loc) of aangeven dat de tweede knoop een specificatie (spec) is van de eerste. Andere qualifiers zijn: negatie (neg), identiteit (iden) en lidmaatschap van een categorie (isa). Daar knopen met meer dan één andere knoop verbonden kunnen zijn kan een protocol herschreven worden als een associatief netwerk. Bijvoorbeeld: de eerste zinnen van het protocol van gevorderde student 87-253 waren: "Door een kattenbeet zijn toxinen in het bloed gekomen. Die hebben aanleiding gegeven tot antilichaamproductie, misschien op basis van eerdere sensibilisatie tijdens drugsgebruikersverleden."

Deze proposities kunnen in het associatieve netwerk, dat op grond daarvan is geconstrueerd en dat als Figuur 3 is afgebeeld, eenvoudig teruggevonden worden. Deze Figuur laat zien dat de vierdejaars student poogt een verklaring te geven van bijna elk symptoom en elke klacht in de beschrijving van de patiënt met endocarditis (de in degevvalsbeschrijving genoemde cues zijn

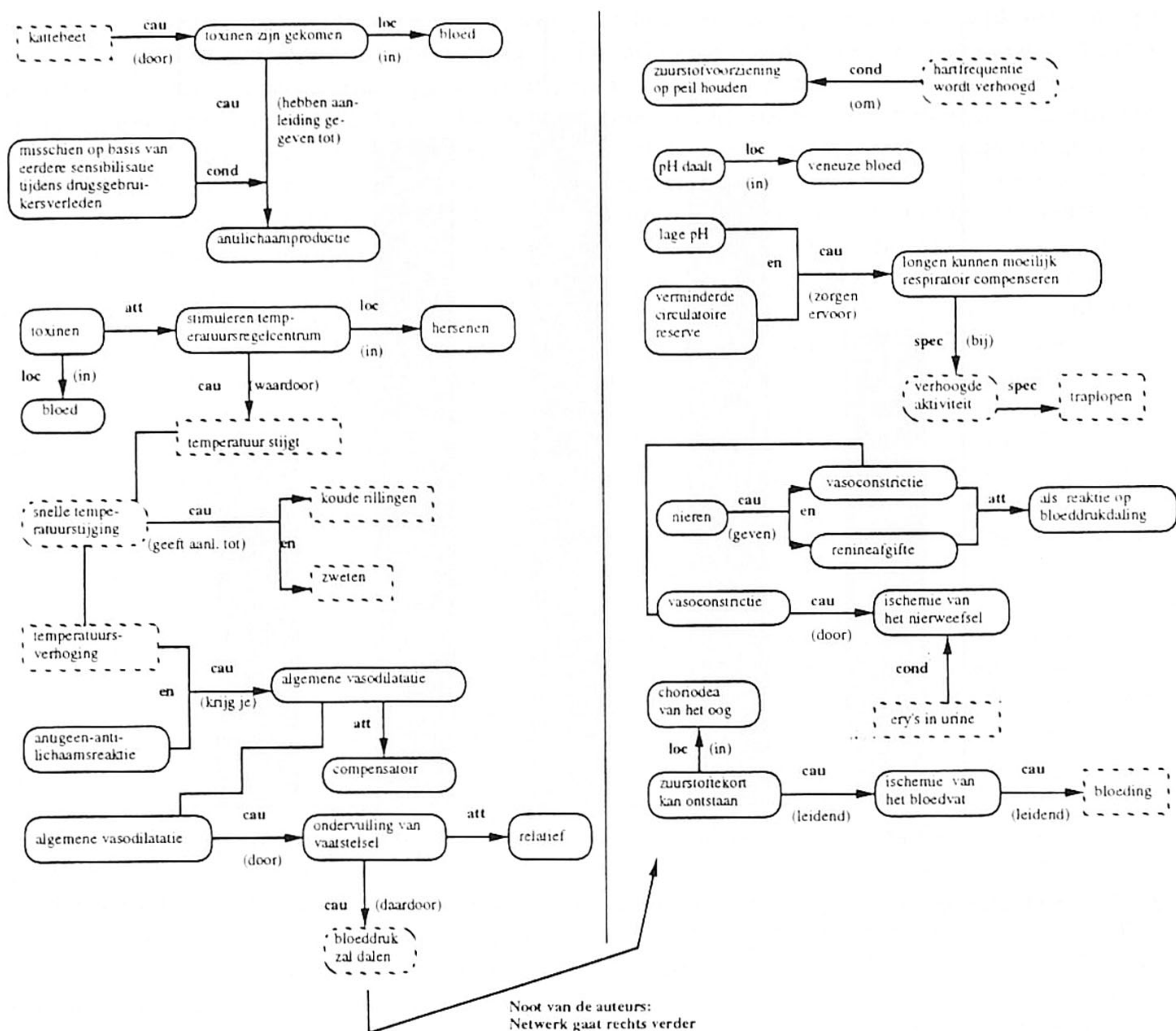


Fig. 3. Causaal netwerk van proposities ontleend aan het pathofysiologie protocol van gevorderde student 87-253.

voorzien van een box met onderbroken lijn). Dit suggereert dat hij de tekst uitgebreid cognitief verwerkt heeft. De verklaring is fijnmazig; nogal wat proposities verwijzen naar basale fysiologische mechanismen.

Figuur 4 beeldt de netwerkrepresentatie van het protocol van een aselekt gekozen internist met 11 jaar ervaring af. Het contrast met het netwerk van de gevorderde student is opvallend: slechts 10 proposities worden geproduceerd. Deze proposities bevatten slechts een paar cues die direct aan de tekst ontleend zijn en de verklaring is in hoge mate geëncapsuleerd. Er wordt niet gerefereerd aan causale entiteiten zoals bacteria, noch aan een mediërend proces zoals sepsis. Zij lijken geëncapsuleerd te zijn in de paar concepten en hun onderlinge relaties die wél gegeneerd worden. Verklarende concepten op het niveau van de pathofysiologie zijn geëncapsuleerd in meeromvattende concepten. Voorbeelden zijn: "endocarditis aortaklep" en "embolieën".

We hebben de hypothese dat experts gebruik maken van kennis in geëncapsuleerde vorm getest op een meer directe wijze door alle protocollen te matchen tegen een standaardverklaring van de klachten en symptomen van de betrokken patiënt. Die standaardverklaring, bestond uit het minimale aantal proposities dat nodig is om alle klachten en symptomen te verklaren. Da

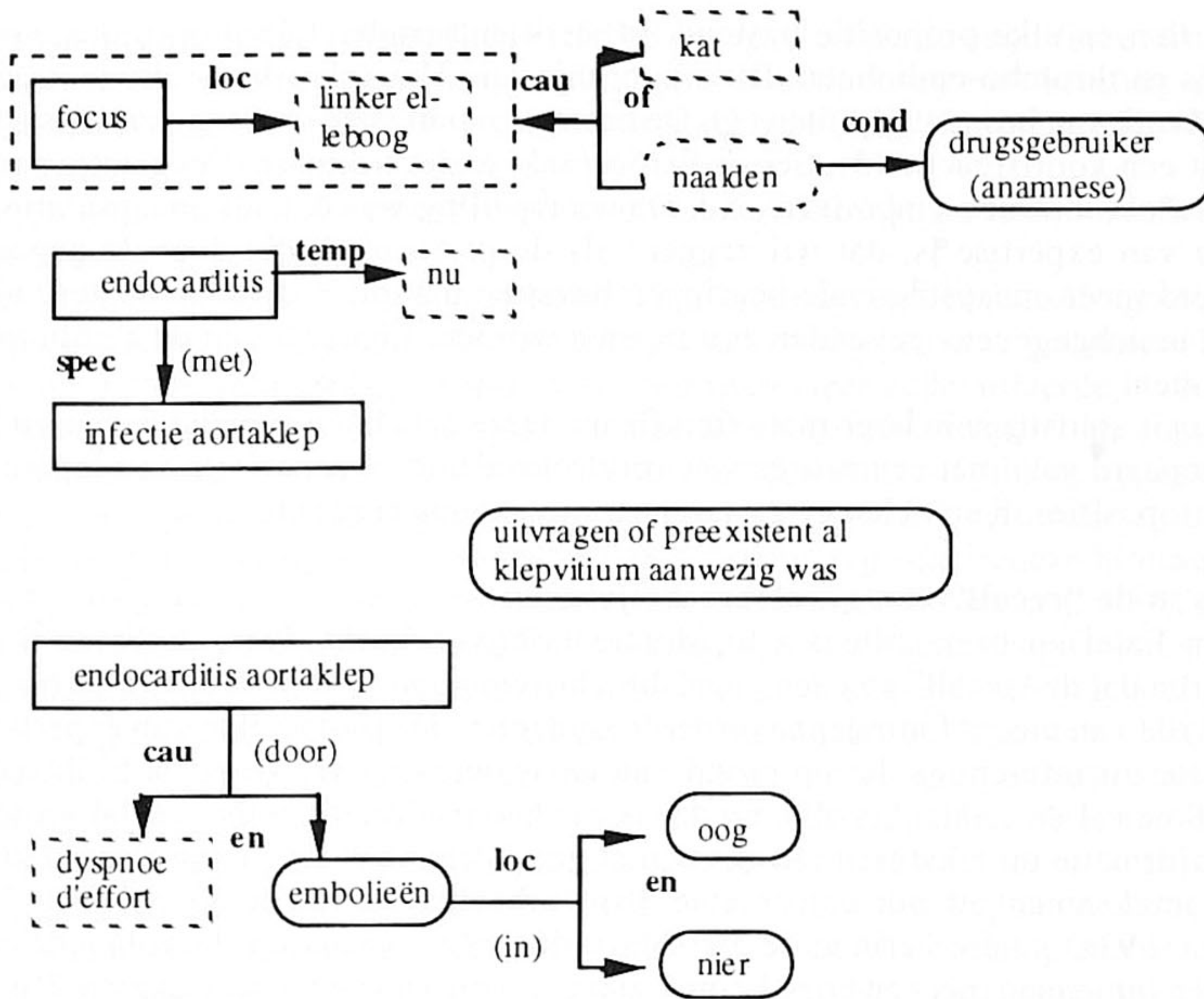


Fig. 4. Causaal netwerk van proposities ontleend aan het pathofysiologie protocol van internist 80-023.

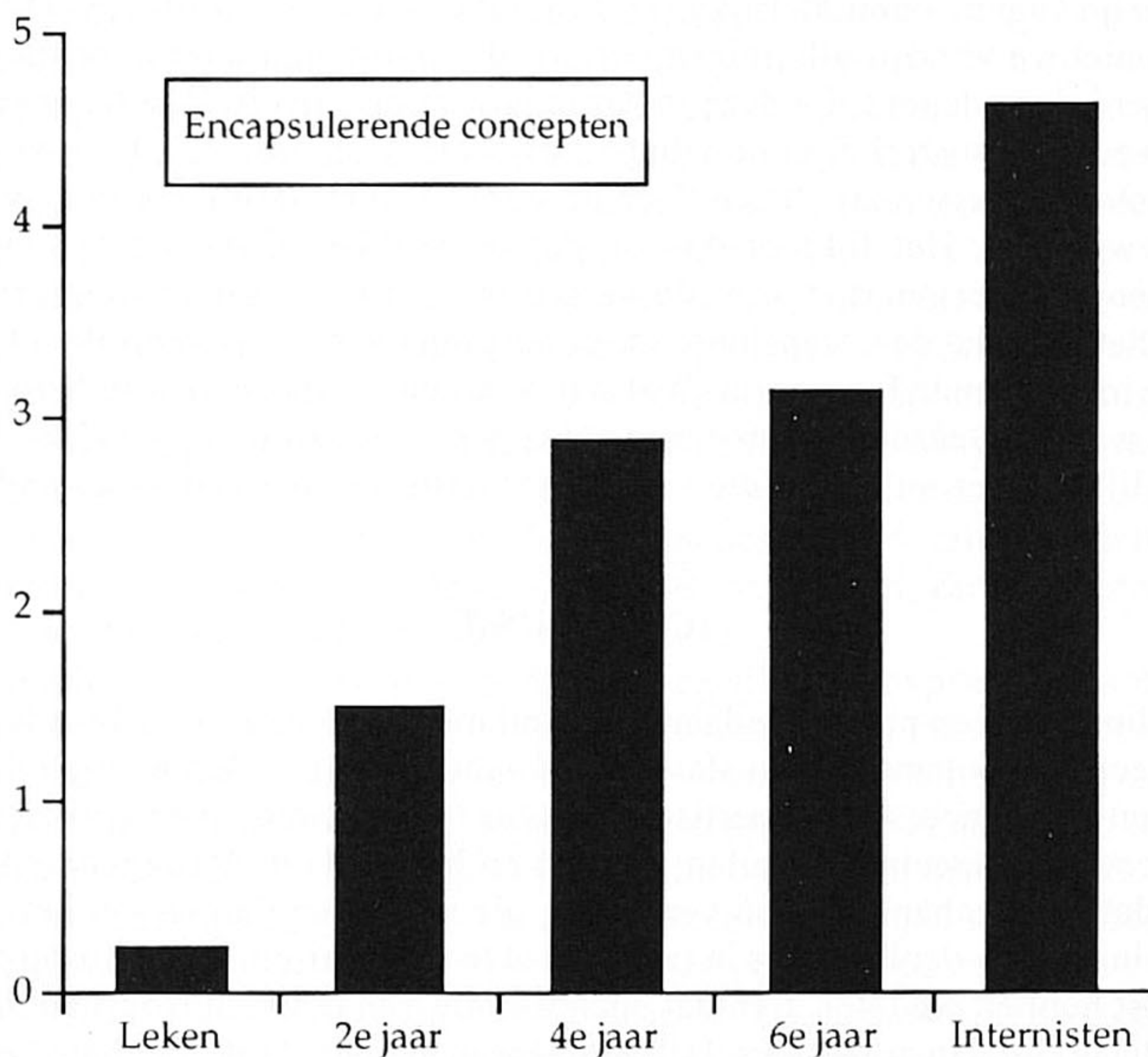


Fig. 5. Gemiddelde aantallen verklarende proposities uit de post-hoc protocollen die met de standaardverklaring matchen.

aantal was tien en elke propositie bestond uit sterk encapsulerende proposities, zoals sepsis, endocarditis en thrombo-embolieën. Dit zijn er vijf van: Het gebruik van drugs is een conditie voor het gebruik van besmette spuit (1). De besmette spuit is de oorzaak van sepsis (4). Sepsis veroorzaakt een koortsreactie (5). Sepsis veroorzaakt endocarditis (6). Vegetatie van de aortaklep veroorzaakt thrombo-embolieën (10). De voorspelling was dat, als encapsulatie inderdaad een functie van expertise is, dat wil zeggen: als de protocollen die door de experts werden geproduceerd meer encapsulerende begrippen bevatten dan die van de studenten, een lineaire trend in de matchgegevens gevonden zou moeten worden. Figuur 5 laat de resultaten in grafische vorm zien.

Het effect is statistisch in hoge mate significant. Deze data laten zien dat de ontwikkeling van expertise gepaard gaat met een proces van voortschrijdende encapsulatie van lagere-orde concepten en proposities in een kleiner aantal meeromvattende concepten.

Inferenties in de "recall" van gevalsbeschrijvingen

Studies van Patel en haar collega's in Montreal (bijvoorbeeld, Patel & Frederiksen, 1984) documenteren dat de "recall" van een gevalsbeschrijving door artsen minder lijkt op de originele tekst dan die van meer of minder gevorderde studenten. De protocollen van experts bestaan in sterkere mate uit inferenties die op grond van de verwerking van de tekst blijkbaar gemaakt worden. Alhoewel de totale "recall" minder is, is het aantal inferenties veelal groter. Experts geven de informatie uit tekst terug in een aantal grote "chunks" die georganiseerd zijn rondom een klein aantal samenvattende constructen. Bijvoorbeeld: één van de artsen uit de Schmidt en Boshuizen (1993a) studie herinnerde zich de endocarditis casus op de volgende wijze: "De patiënt is een jongeman met een hoge koorts, die een *septisch syndroom* laat zien. Dit suggereert het gebruik van drugs. Hij vertoont tekenen van *thrombo-embolieën*, vanwege een *beschadigde hartklep*. De *tachycardia* klopt met het *aorta vitium*" (samenvattende concepten zijn cursief gezet). Deze "recall" van de gevalsbeschrijving bestaat bijna geheel uit inferenties. Het lijkt erop dat deze expert geen duidelijk onderscheid maakt tussen de informatie zoals gepresenteerd in de tekst en zijn eigen, onmiddellijke, interpretatie van die informatie. Dit is op zichzelf natuurlijk geen nieuwe vondst; alle informatie wordt opgeslagen, niet in originele vorm, maar als geïnterpreteerd door degene die deze informatie verwerkt heeft. Wat belangrijk is, is dat de "recall" van deze internist sterk lijkt op zijn pathofysiologisch protocol. Daarnaast is er een niet onaanzienlijke overlap tussen zijn "recall" en de standaardverklaring die in de vorige paragraaf aan de orde geweest is. Het lijkt er dus op dat de verklaring die de expert heeft voor de verschijnselen en zijn herinnering van die verschijnselen in elkaar geïntegreerd geraakt zijn. Daarnaast lijkt het erop dat de encapsulerende concepten die experts gebruiken bij het begrijpen van de casus de integrerende factor zijn. Wat wij waarnemen als de vaardigheid van experts om de kern van de gepresenteerde informatie te zien, in plaats van de oppervlaktekenmerken van die informatie, lijkt wederom een uiting van encapsulatie van het kennisbestand te zijn.

CONCLUSIE

In dit artikel hebben we een poging gedaan encapsulatie van declaratieve kennis te introduceren als een nieuw leermechanisme, dat in staat is een aantal tot op heden niet gerelateerde empirische bevindingen in de medische expertise literatuur te verklaren op een wijze die deze bevindingen identificeert als speciale gevallen van één en hetzelfde onderliggende proces. We hebben laten zien dat dit mechanisme een verklaring biedt voor de daling van het aantal biomedische concepten in hardop-denken studies in functie van het expertiseniveau (Boshuizen en Schmidt, 1992). Daarnaast hebben we laten zien dat encapsulatie van het kennisbestand het mechanisme is dat ten grondslag ligt aan zulke verschillende fenomenen als "Intermediate" effecten in post-hoc pathofysiologische verklaringen van patiëntenbeschrijvingen (Schmidt & Boshuizen, 1993a) en het toenemen van het aantal inferenties in de "recall" van dergelijke casus wanneer expertise zich ontwikkelt (Groen & Patel, 1988). Een definitieve test van onze these is overigens pas

mogelijk als we in staat zijn in longitudinale studies encapsulatie in de cognitieve structuren van individuen aan te tonen. Het expert-noviet paradigma is simpelweg niet krachtig genoeg om dergelijke ontwikkelingsgeoriënteerde hypothesen op een volledig bevredigende wijze te toetsen (zie ook Schmidt & Boshuizen 1993b).

Wat zijn de implicaties van de theorie die in dit artikel uiteengezet is en van de empirische bevindingen waarop deze steunt?

De eerste is dat encapsulatie een rol zou kunnen spelen in de relatief plotselinge verschuivingen in prestatie die bij veel expertisegerelateerde taken kan worden waargenomen. Het "intermediate" effect, het verschijnsel dat gevorderde studenten meer gedetailleerde kennis lijken te gebruiken dan experts en dat bij een groot aantal taken gedemonstreerd is, suggereert dat expertise zich in stadia ontwikkelt. We hebben elders beargumenteerd dat het nuttig kan zijn de ontwikkeling van expertise te conceptualiseren als een proces waarin op enkele tijdstippen een fundamentele herstructurering van kennis plaatsvindt van het type dat in deze bijdrage beschreven is, gevolgd door perioden van accretie (Schmidt, Norman, & Boshuizen, 1990; Schmidt & Boshuizen, 1993b). Eén zo'n periode waarin betrekkelijk massieve kennisherstructurering plaatsvindt, is wanneer medische studenten voor het eerst met "echte" patiënten in aanraking komen en zich met de gezondheidsproblemen van die patiënten gaan bezighouden. Het betreft de periode van de stages in ziekenhuizen en bij de huisarts. Alle ons bekende studies waarin ontwikkelingsgerelateerde veranderingen worden aangetoond, zoals de daling van de hoeveelheid pathofysiologische verklaringen die studenten geven in hardop-denken en verklaringstaken die in dit artikel besproken zijn, laten zien dat de transitie in die periode plaatsvindt. Dat het hier inderdaad om een verschuiving gaat die het resultaat is van de blootstelling aan nieuwe leerervaringen, wordt aannemelijk gemaakt door het feit dat waar bij Nederlandse medische studenten de verandering in het vijfde en zesde studiejaar optreedt, in de VS en Canada eenzelfde verschuiving in het derde en vierde jaar kan worden waargenomen. Dat is in die landen de periode waarin de studenten hun eerste ervaringen met patiënten opdoen.

We hebben eerder encapsulatie als een min of meer geleidelijk proces afgeschilderd, als de *voortschrijdende* onderordering van lagere-orde begrippen. Hierboven hebben we encapsulatie verantwoordelijk gesteld voor min of meer plotselinge veranderingen in het kennisbestand. Hoe zijn die twee standpunten met elkaar te rijmen? Zeker, encapsulatie is in onze opvatting een geleidelijk proces het is niet zo dat kennis van het ene op het andere moment in de tijd een volstrekt andere structuur aanneemt. Echter, encapsulatie is een response op de taak waarvoor het organisme zich gesteld ziet. Bestaat die taak er vooral uit nieuwe kennis te verwerven, dan zal er relatief weinig encapsulatie in het kennisbestand optreden. Bestaat de taak uit het herhaald toepassen van die kennis, dan zal die kennis gradueel verpakt worden in hogere-orde begrippen. Toepassing van kennis en *herhaalde* toepassing daarvan zijn dus noodzakelijke voorwaarden voor het optreden van encapsulatie. Daar in veel onderwijsprogramma's het herhaald gebruik van kennis in afgegrensde perioden plaatsvindt, zullen dat ook vooral de perioden zijn waarin encapsulatie optreedt. Vandaar dat wij encapsulatie verantwoordelijk stellen voor de relatief plotselinge verschuivingen die in die perioden optreden. Zie voor een kritisch-afwijzende discussie van dit standpunt Patel en Groen (1991).

Een tweede implicatie heeft met de eerste te maken. Daar encapsulatie door interactie met patiënten in gang lijkt te worden gezet, zou het interessant zijn de mogelijkheid te overwegen dat dit proces versneld zou kunnen worden. In andere woorden: zou het nuttig zijn studenten al veel vroeger in hun studie met echte patiënten te confronteren? Een antwoord op deze vraag is afhankelijk van de mate waarin studenten een kritische massa van biomedische kennis moeten hebben opgebouwd voordat encapsulatie kan plaatsvinden. Moet een student eerst over de hele linie een grote hoeveelheid biomedische kennis hebben opgebouwd of treden encapsulaties op zodra in een subdomein voldoende kennis verworven is? Dit is geen theoretische kwestie want op dit moment wordt aan minstens twee medische faculteiten in Nederland overwogen om studenten in een veel vroeger stadium te confronteren met patiënten. Onze positie is dat het niet zinvol is studenten intensief met echte patiënten te confronteren voordat die kritische massa van biomedische kennis verworven is. Dat wil niet zeggen dat die kritische massa over de hele linie

bereikt zou moeten zijn, wil encapsulatie kunnen optreden. Het is zeer wel mogelijk dat op deelterreinen waarop voldoende kennis bestaat, encapsulatie optreedt onder invloed van het diagnostiseren van patiëntenproblemen in dat deelgebied. Dat is een empirische kwestie die alleen op empirische wijze kan worden verhelderd (al is het de vraag welke opleiding zich voor een dergelijk experiment zal willen lenen).

Ten derde: het is onaannemelijk dat de in deze bijdrage beschreven fenomenen zich beperken tot het medische domein. Niet uitgesloten kan worden dat een bevindingen in andere domeinen op hetzelfde mechanisme teruggevoerd kunnen worden. Daarbij kan gedacht worden aan het "chunken" van informatie dat door Chase en Simon (1973) bij schaakgrootmeesters geconstateerd werd en aan het feit dat gevorderde schakers tijdens het spel meer alternatieven overwegen dan grootmeesters (De Groot, 1946). Ook het "step-skipping" fenomeen dat Koedinger en Anderson (1990) bij ervaren oplosers van geometrische problemen constateerden, lijkt kenmerken gemeen te hebben met wat wij in onze experimenten observeren.

Een laatste implicatie is wellicht dat het zinvol kan zijn onderzoek te richten op het kennisbestand van novieten, gevorderden en experts, eerder dan op hun prestaties in expertisegerelateerde taken. Het in kaart brengen van iemands kennisbestand is een lastige onderneming, temeer daar personen de neiging hebben kennis te mobiliseren afhankelijk van de specifieke taak. Niettemin is een dergelijke benadering niet geheel zonder beloning, zoals de hier gepresenteerde experimenten hopelijk hebben laten zien.

NOTEN

1. Meer recente opvattingen beschouwen kennis als gerepresenteerd in tamelijk losse associatieve netwerken (Rumelhart en McClelland, 1986). Kennis in die netwerken wordt geactiveerd en georganiseerd naar de aard van de specifieke taak die uitgevoerd moet worden. Representatie van een probleem bestaat daarbij niet uit de instantiëring van een min of meer adequaat schema maar uit de ad-hoc constructie van een taakspecifieke representatie (Kintsch, 1988). Deze ideeën hebben enige empirische steun gevonden in met name computermodelering van basale menselijke cognitie, maar lijken nog te weinig uitgewerkt om menselijke prestaties bij het uitvoeren van complexe taken te helpen begrijpen.
2. Een vergelijkbaar leermechanisme, "chunking", wordt door Newell en Rosenbloom (1981) beschreven. Volgens Rosenbloom, Laird en Newell (1988) dienen zowel compilatie als chunking ertoe om het kennisbestand af te stemmen ("tuning"), dat wil zeggen: producties te generaliseren of te specialiseren. In tegenstelling tot Anderson neemt Newell aan dat kennis onmiddellijk in procedurele vorm beschikbaar is en dat het dus niet nodig is eerst een proces van proceduralisatie van declaratieve kennis te postuleren. Zie voor een discussie over verschillen tussen encapsulatie aan de ene en compilatie en chunking aan de andere kant Schmidt en Boshuizen (1993a), noot 3.
3. Een "Intermediate" effect is het frequent optreden van een bepaald gedrag bij personen van een middelmatig kennis- of vaardigheidsniveau, terwijl datzelfde gedrag zowel bij beginners als experts weinig voorkomt. Figuur 1 en 2 tonen voorbeelden van dergelijke "Intermediate" effecten.
4. Klinische kennis wordt hier gedefinieerd als kennis van kenmerken van zieke mensen. Deze kennis heeft betrekking op de verschillende wijzen waarop ziekte zich in patiënten kan manifesteren; het soort klachten die verwacht kan worden gegeven die ziekte; de aard en de variabiliteit van de symptomen en de manieren waarop de ziekte behandeld kan worden. Biomedische kennis daarentegen bestaat uit (patho)biologische principes, mechanismen of processen die aan de manifestaties van ziekte ten grondslag liggen. Biomedische kennis wordt uitgedrukt in termen van de structuur en het functioneren van cellen, weefsels, organen en orgaansystemen en in termen van hun verstoringen door middel van entiteiten zoals bacteria of virussen, kwaadaardige groei, etc. Pathobiologie (ook wel: pathofysiologie) is dus de leer van de biologie der verstoorde functies.
5. Onder pathofysiologie wordt verstaan het causale ziekteverwekkende proces dat voor het optreden van de klachten en symptomen verantwoordelijk kan worden gesteld. Bijvoorbeeld: de bij griep horende klachten en symptomen zijn koorts, pijn in de spieren en een rode keel. Het onderliggende pathofysiologische proces bestaat daarin dat het griepvirus via het ademhalingsstelsel het lichaam binnendringt en een immuunresponse oproept.

LITERATUUR

- Alba, J.W., & Hasher, L. (1983). Is memory schematic? *Psychological Bulletin*, 93, 203 - 231.
- Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Anderson, J. R. (1987). Skill acquisition: Compilation of weak-method problem solutions. *Psychological Review*, 94, 192-210.
- Boshuizen, H. P. A. (1989). *De ontwikkeling van medische expertise; een cognitief-psychologische benadering*. Academisch Proefschrift. Haarlem: Thesis.
- Boshuizen, H. P. A., & Schmidt, H. G. (1992). The role of biomedical knowledge in clinical reasoning by experts, intermediates and novices. *Cognitive Science*, 16, 153-184.
- Boshuizen, H. P. A., Schmidt, H. G., & Coughlin, L. D. (1988). On the application of medical basic science knowledge in clinical reasoning: Implications for structural knowledge differences between experts and novices. In *Proceedings of the Tenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 517-523). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Bransford, J. D., & Johnson, M. K. (1972). Contextual prerequisites for understanding: Some investigations of comprehension and recall. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11, 717-726.
- Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973). Perception in chess. *Cognitive Psychology*, 4, 55-81.
- Chi, M. T. H., Feltovich, P. J., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problem by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.
- Chi, M.T.H., Glaser, R., & Farr, M.J. (Eds.). (1988). *The nature of expertise*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- De Groot, A. D. (1946). *Het denken van den schaker*. Den Haag: Noord Holland.
- Groen, G.J., & Patel, V.L. (1988). The relationship between comprehension and reasoning in medical expertise. In M.T.H. Chi, R. Glaser, & M.J. Farr (Eds.). *The nature of expertise* (pp. 287-310). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Kintsch, W. (1988). The role of knowledge in discourse comprehension: A construction-integration model. *Psychological Review*, 95, 163-182.
- Kintsch, W., & Greeno, J. G. (1985). Understanding and solving word arithmetic problems. *Psychological Review*, 92, 109-129.
- Koedinger, K. R., & Anderson, J. R. (1990). Abstract planning and perceptual chunks: Elements of expertise in geometry. *Cognitive Science*, 14, 511-550.
- Lesgold, A. M. (1984). Acquiring Expertise. In J. R. Anderson, & S. M. Kosslyn (Eds.), *Tutorials in learning and memory; Essays in honor of Gordon Bower* (pp. 31-60). San Francisco: Freeman & Comp.
- Minsky, M. (1975). A framework for representing knowledge. In P.H. Winston (Ed.). *The psychology of computer vision*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Newell, A., & Rosenbloom, P. S. (1981). Mechanisms of skill acquisition and the law of practice. In J. R. Anderson (Ed.). *Cognitive skills and their acquisition*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Patel, V. L., Evans, D. A., & Groen, G. J. (1989). Biomedical knowledge and clinical reasoning. In D. A. Evans, & V.L. Patel, (Eds.). *Cognitive science in medicine* (pp. 53-112). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Patel, V. L., & Frederiksen, C. L. (1984). Cognitive processes in comprehension and knowledge acquisition by medical students and physicians. In H. G. Schmidt and M. L. de Volder (Eds.), *Tutorials in problem-based learning* (pp. 143-157). Assen: Van Gorcum.
- Patel, V.L., & Groen, G.J. (1986). Knowledge-based solution strategies in medical reasoning. *Cognitive Science*, 10, 91-116.
- Patel, V. L., & Groen, G. J. (1991). Developmental accounts of the transition from medical student to doctor: Some problems and suggestions. *Medical Education*, 25, 527-535.
- Pichert, J. W., & Anderson, R. C. (1977). Taking different perspectives on a story. *Journal of Educational Psychology*, 69, 305-315.
- Rosenbloom, P. S., Laird, J. E., and Newell, A. (1988). The chunking of skill and knowledge. In H. Bouma and B. A. G. Elsendoorn (Eds.), *Working Models of Human Perception* (pp. 391-440). London: Academic Press.
- Rumelhart, D. E., & Norman, D. A. (1978). Accretion, tuning, and restructuring: Three modes of learning. In J. W. Cotton & R. L. Klatzky (Eds.), *Semantic factors in cognition* (pp. 37-60). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Rumelhart, D. E., & McClelland, J. L. (1986) *Parallel distributed processing*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Schank, R. C., & Abelson, R. P. (1977). *Scripts, plans, goals and understanding*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

- Schmidt, H. G., & Boshuizen, H. P. A. (1993a). On the origin of intermediate effects in clinical case recall. *Memory & Cognition*, 21, 338-351.
- Schmidt, H. G., & Boshuizen, H. P. A. (1993b). On acquiring expertise in medicine. *Educational Psychology Review*, 5, 1-17.
- Schmidt, H. G., De Grave, W. S., De Volder, M. L., Moust, J. H.C., and Patel, V. L. (1989). Explanatory models in the processing of science text: The role of prior knowledge activation through small-group discussion. *Journal of Educational Psychology*, 81, 610-619.
- Schmidt, H.G., Norman, G. R., and Boshuizen, H. P. A. (1990). A Cognitive Perspective on Medical Expertise: Theory and Implications. *Academic Medicine*, 65, 611-621.
- Schmidt, H. G., Spaaij, G., & De Grave, W. S. (1988). Opsporen van misconcepties bij middelbare scholieren. *Tijdschrift voor Onderwijsresearch*, 13, 129-140.
- Spilich, G. J., Vesonder, G. T., Chiesi, H. L., & Voss, J. F. (1979). Text processing of domain-related information for individuals with high and low domain knowledge. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 18, 275-290.
- Van Dijk, T. A., & Kintsch, W. (1984). *Strategies of discourse comprehension*. New York, NY: Academic Press.
- Voss, J. F., Greene, T. R., Post, T. A., & Penner, B. C. (1983). Problem-solving skill in the social sciences. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (Vol. 17, pp. 165-213). New York, NY: Academic Press.
- Whineburg, S. S. (1991). Historical problem solving: A study of the cognitive processes used in the evaluation of documentary and pictorial evidence. *Journal of Educational Psychology*, 83, 73-87.

Manuscript ontvangen 17-3-1993

Definitieve versie ontvangen 8-6-1993