

MŰHELY



Kérjük, hogy a MŰHELY című módszertani rovatba szánt írásait közvetlenül a szerkesztőhöz küldjék lehetőleg e-mail mellékletként vagy postán a következő címre: Dr. Tóth Zoltán, Debreceni Egyetem Kémia Szakmódszertan, 4010 Debrecen, Pf. 66. E-mail: tothzoltandr@yahoo.com, Telefon: 06 52 512 900 / 22581-es mellék.

Ludányi Lajos

Tábla és kréta vagy PowerPoint?

Bevezetés

A tanári eszköztár és a hozzá kötődő módszertan egy újabb taggal bővült közel két évtizede. A számítógép, majd az ehhez kötődő információs technológia a jövőkutatók szerint a jövő oktatási rendszerének meghatározó elemévé válik.

Vizsgálatom során arra kerestem a választ, hogy a számítógéppel segített óratartás legegyszerűbb formája, a PowerPointos prezentáció milyen

változást okoz a tanulók tudásszerkezetében, és ez a hatás mennyire hatékony a tudás megőrzésében.

A vizsgálathoz a hagyományos statisztikai módszereken túl egy a magyar kutatómódszertanban viszonylag új eljárást a tudástér-elméletet használtam fel. Ennek segítségével vizuális módon is megjeleníthetjük a tanulói tudásszerkezetet, illetve az abban végbemenő változást nyomon követhetjük.

A tudás felépülése

A kémia nehezen tanulható és tanítható tantárgy általános és középiskolai szinten egyaránt. A nehézség lényege, hogy a kémiai jelenségek magyarázata több szempontból is ellentmondásba kerül a tanuló köznap tapasztalataiból levont következtetéseivel. Az eredmények azt mutatják, hogy a legtöbb tévképzet annak a folyamatnak a során keletkezik, amikor a tanuló megpróbálja beépíteni egy adott kémiai jelenség magyarázatát az előzetes ismeretei, hiedelmei által meghatározott rendszerbe.

A természettudományok oktatásával kapcsolatosan legelterjedtebb nézőpont, a konstruktivista szemléletmód értelmében megfigyeléseinket, érzékszerveinkkel által nyert tapasztalatainkat befolyásolják a már felépített gondolati rendszerünk előzetes elvárásai. Ugyanígy egy kísérlet értelmezését, egy tankönyvi ábra jelentését, vagy a tanári magyarázat tanulói értelmezését is diákunk előzetes ismereteinek megfelelően átformálja. Ezekre az előzetes ismeretekre támaszkodva építi tovább saját tudásrendszerét, amelybe több-kevesebb sikerrel igyekszik beilleszteni, hozzákapcsolni a tananyagban előkerülő újabb jelenségeket. Ennek köszönhetően a tanulás nem egyszerűen egy tudástranszfer a tanártól vagy a tankönyvtől a diák felé, hanem a tanár számára láthatatlan és jórészt ellenőrizhetetlen, a tanuló által megvalósított építő folyamat. Hogy ez az építkezés a számkra kívánt irányba történjen, ehhez tanári módszereink és eszköztárunk folyamatos újítása, aktualizálása, felülvizsgálata szükségeltetik.

Ebben nyújt nagy segítséget számunkra a tudástér elmélet, amelynek segítségével grafikus módon, gráfok segítségével követhetjük az adott tanulócsoporthoz az oktatás hatására bekövetkező tudásszerkezet-változást, következtetéseket tudunk levonni belőle munkánk hatékonysá-

gáról, az eredmény ismeretében a tudáselemek sorrendjének felcserélésével pedig a tananyag felépülését az adott tanulócsoport tudásához tudjuk illeszteni.

Számítógépes prezentációhasználat

A témával kapcsolatos irodalom óriási, jelen írás során csak a prezentációval kapcsolatos néhány eredményt ismertetem:

Pavio (1991) statikus képek felidézhetőségével kapcsolatban végzett vizsgálatokat. Kettős kódolás elmélete (Dual Coding Theory) alapján ugyanazon információt kétféle, verbális és vizuális módon is képes vagyunk tárolni memóriánkban. Egy olyan közlési módnak tehát, ahol egyszerre vizuálisan és verbálisan is megkapjuk ugyanazt az információt - egyszerre két helyen történő rögzülése miatt -, sokkal nagyobb a megtartó ereje, mintha csak verbális közlés alapján rögzítenénk. A képi megközelítés könnyebb előhívhatósága segít abban, ha az egyik kódolás el is vész (többnyire a verbális), a másik rögzülés segítségével a fogalom még előhívható.

Mayer és munkatársai (1990) arra a következtetésre jutottak, hogy hosszú távú memóriánkban a verbális és a képi rögzítés rendszere független egymástól, ugyanakkor kapcsolat alakulhat ki közöttük. A Kettős kódolás elméletből tapasztalataik alapján levezettek az összefüggés elvét (Contiguity Theory), amelynek lényege, hogy egy multimédiás jellegű bemutató hatékonysága megnövekszik akkor, ha a szöveg és a képi megjelenítés egyidőben történik, nem pedig először elmondjuk, hogy mit fogunk majd a később, például az óra végén képen is látni.

Ezt *Baggett (1984)* vizsgálata is megerősítette, aki azt tapasztalta, hogy nagyobb tudásmegőrződést kapott annál a csoportnál, ahol a látható animációt azonnal vagy hét másodperccel később követte a verbális magyarázat; ellentétben azzal a csoporttal, ahol 14, illetve 21 másodperc is eltelt a kétféle információ átadása között.

Sloan és Thompson (2001) 9. évfolyamos tanulók esetében azt tapasztalták, hogy az tananyagátadást követően azonnal elvégzett t-próba nem jelzett szignifikáns különbséget a számítógépes és a kontrollcsoport tudása között. Egy hónap múlva elvégezve a t-próbát a két csoport között már szignifikáns különbség volt felfedezhető, az IKT eszközöket használó

csoport javára; ami azt bizonyítja, hogy a tudás megtartásában ez a módszer jóval eredményesebb.

Beets és Lobingier (2001) egyetemista diákok körében az órátartás módszereinek kedveltségét vizsgálta. Eszerint a diákok 33%-a hagyományos tábla-kréta módszerrel, 13% az írásvetítővel, 54%-uk pedig a bemutató szoftverrel tartott órát részesítette előnyben. A felmérés egyébként arra is rávilágított, hogy mindhárom módszer esetén igaz volt, hogy az adott módszert kedvelők jobb eredményt értek el a vizsgán, mint azok, akik nem ezt a módszert részesítették előnyben, de ezzel történt az órátartás.

Clark (1993) szerint a számítógép órai használatának legnagyobb előnye, hogy akár 30-50%-kal képes lerövidíteni a magyarázatra szánt időt. Ha pedig az adott fogalmat kevesebb idő alatt sajátítják el diákjaink, akkor az így nyert időt felhasználhatjuk más órai tevékenységekre, amelyekkel tovább erősíthető az adott fogalom megértése.

Russell és munkatársai (1997) tanulók elő és utótesztjének összehasonlító vizsgálata során megállapították, hogy azok a tanulók, akik a gázokra vonatkozó egyensúlyi folyamatok értelmezése során számítógépes animációval segítséget kaptak, jobb eredményt értek el, és kevesebb tévképzetrel voltak terhelve az oktatási folyamat végén.

Williamson és Abraham (1995) az anyagi részecskékre vonatkozóan végzett vizsgálatokat. Vizsgálatukban három csoportra osztották a diákokat, mindhárom csoport statikus képek és szóbeli információk alapján kapott tájékoztatást az anyagok felépüléséről, de a második és harmadik csoport ezzel kapcsolatban még animációs segítséget kapott. A harmadik csoport esetében pedig az összefoglaláskor ismét előkerültek az animációk. A teszteredmények egyértelművé tették, hogy a számítógépes animációt is ismerő csoportok jobb eredményt értek el a teszten a csak statikus képet használó csoport tagjainál. Ugyanakkor nem volt szignifikáns különbség a két animációt használó csoport között. Ennek okát abban látják, hogy csak az induláshoz kell vizuális-animációs segítség a tanulók számára, hogy megismerkedjenek a „szereplőkkel”, azok viselkedésével; a későbbiek során már maguk fűzik tovább ismereteiket, és nem szorulnak rá az animációs segítségre.

A vizualizáció egyik veszélyére *Sanger és munkatársai (2001)* hívták fel a figyelmet. Vizsgálatukban az oldatokban történő diffúziót és az ozmózisnyomást szemléltették a diákok számára animációval. Az animációt használó csoportban az a tévképzet kapott erőre, hogy az oldott ré-

szecskék mozgásának hajtóereje az, hogy ha a részecskék nem mozognának az oldatban, akkor leülepednének. Ugyanakkor az ozmózis nyomás szemléltetésére használt cukoroldat összetevőinek ábrázolása azt a tévképzetet váltotta ki belőlük, hogy a cukor nem tud feloldódni az oldatban, hiszen láthatóan külön van, azaz a homogén oldatból heterogén keveréket kreáltak.

Arasasingham és kollégái (2005) méréseikhez a tudástér-elméletet használva arra kerestek választ, hogy egy web-alapú, a sztöchiometriai ismeretek elsajátítását segítő számítógépes szoftver felhasználása miként változtatja meg a diákok tudásszerkezetét, a hagyományos csoporthoz képest. A szoftver grafikus prezentációkkal szemléltette a kémiai reakciók sztöchiometriáját, és segítségével a tanulók lépésről-lépésre ellenőrizhették tudásukat, míg a kontrollcsoport a hagyományos módon készült fel a vizsgára. A kutatócsoport tapasztalatai szerint a számítógépes módszer nem változtatta meg a diákok gondolkodási sablonjait, noha hatásosabb és sikeresebb volt. A szoftvert használó csoport tudása sokkal fókuszáltabb, rendezettebb képet eredményezett. Bár a számítógépes csoport átlagai sokkal jobbak voltak, de a két csoport gondolkodási sémáinak sorrendjében nem következett be változás.

A tudástér elmélet

A statisztikai programokon túl egyre több olyan programra bukkanhatunk, amelyek segítségével vizuális módon is megjeleníthetjük a tanulói tudásszerkezetet.

Ilyen módszer, – a Galois-gráf – már régóta jelen van a magyar pedagógiai kutatásokban (*Takács, 2000*). Én egy másik, ettől némileg eltérő elvet követő alkalmazást, a tudástér elméletet (*Tóth, 2005*) használtam a kutatáshoz.

Az elmélet lényege, hogy egy adott téma (például középiskolai szinten a sav-bázis témakör) sok részből tevődik össze (Arrhenius elmélete, Brønsted elmélete, savi disszociációs állandó, vízionszorzat, pH fogalom, pH számítása stb.). Ezek között a részek között kapcsolat van, és többé-kevésbé hierarchikus rendszert képeznek. A tudástér elmélet alapfeltevése, hogy ha egy diák meg tud oldani egy a hierarchia magasabb pontján lévő feladatot (például ki tudja számolni a pH-t a kémiai koncent-

rációból), akkor az ehhez a feladathoz kapcsolódó, de a hierarchia alacsonyabb szintjén lévő feladatokat is képes megoldani (például ismeri az oxónium-ion jelentőségét, vagy ismeri a pH skála beosztásának lényegét).

A továbbiakban használatos gráfok esetén azt a jelölésmódot használom, hogy az illető tanuló mely kérdésekre adott helyes választ. Tehát például a [3, 5, 6] a 3. az 5. és a 6. kérdésekre adott helyes válaszokból álló tudásállapot jelenti.

A vizsgálat módszere

Vizsgálatomat 2005-ben, egy gimnázium két 9. évfolyamos osztályának a segítségével végeztem. A két osztályt különböző tanár tanította. Az egyik tanár a hagyományos frontális eljárást használta, a másik pedig számítógépet használva – a tanórai és az otthoni munkában –, több vizualizációra és a köznapokhoz fűződő érdekességekre építette fel a tananyagot. A két tanár ugyanannyi időt szánt a tananyag átadásra.

A számítógép használatához kapcsolódó órán PowerPointtal történt az órátartás abban minimális animációval, szintén frontális módszerrel, kivetítőt használva. Magának az órának a vázlatát kibővítve, interaktív feladatokkal, tesztekkel, hasznos internetes linkekkel ellátva mindenki megkapta lemezen, és az otthoni gépén használhatta. Ezen kívül a hagyományos módon is folyt a feldolgozás, azaz a hagyományos táblát és módszereket is igénybe kellett venni például a feladatmegoldáshoz.

A vizsgált témakör elkezdése előtt tudásszint felmérést végeztem mind a két csoportban, majd a témakör zárása után, a témazáró dolgozatot követő órán, illetve 3 hónap elteltével, a nyári szünetről visszatérve.

A felmérés témaköre a sav-bázis fogalom, annak köznapokban is használható vonatkozásai voltak.

A felmérés kérdése

1. Sorolj fel három savas tulajdonságú anyagot!
2. Hány fajta kémhatás van?
3. Mi az a pH?

4. Mekkora a pH-skála maximum és minimum értéke?
5. A pH kiszámításához milyen koncentrációegység ismerete szükséges?
6. Sorolj fel három lúgos kémhatású anyagot!
7. Ha egy savat tízszeresére hígítunk, hogyan változik a pH-ja?

A felmérésem nem tekinthető reprezentatívnak, mivel:

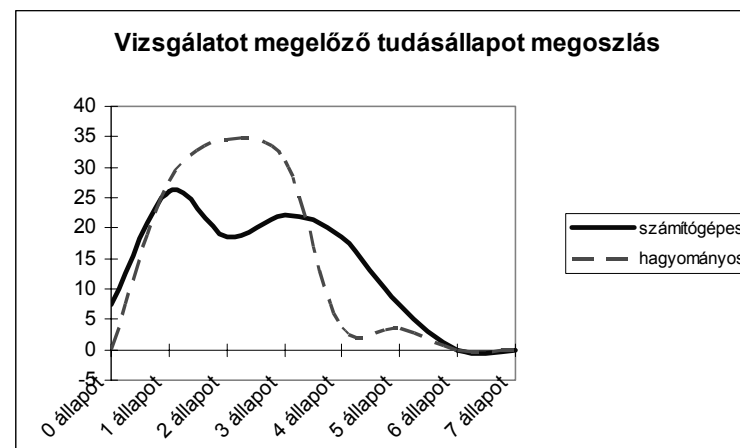
- Nem ugyanazon tanár tanította két különböző módon a tananyagot, így a tanárok személyiségéből adódó eltérést nem lehet korrigálni.
- Kicsi a minta elemszáma (frontális módszer: 28 tanuló számítógépes módszer: 27 tanuló)
- Csak egyféle kérdéssort használtam mindkét csoportnál, mindhárom esetben.
- A kérdések számának korlátozottsága miatt nem kellő mélységű a fogalomkör vizsgálata

Eredmények

Megelőző vizsgálatok:

Az előzetes teszt alapján elvégzett Levene-próbából és a függetlenségvizsgálatból kiderült, hogy a szórások között – a pH változásra vonatkozó tesztkérdés kivételével, amire nem érkezhetett jó válasz az ismeretek hiánya miatt – nincs szignifikáns különbség; a két osztály statisztikailag igazolhatóan azonos tudásállapottal kezdett neki a kísérletnek.

Megvizsgáltam a tudástér elmélet alapján is a két csoport tudáselemeinek megoszlását. Feltérképeztem az adott tudásszinteken tartózkodó tanulók százalékos arányát, tehát hogy hány százaléka a diákoknak adott csupán egy helyes választ: ők az 1. állapotban találhatók; hányan adtak két helyes választ, ők a 2. állapotban található tanulók sít. Ábrázolva ezt a megoszlást, az látható, hogy a két haranggörbe lefutása közel azonos. A két görbe nem tökéletes „harang” lefutásának egyik oka a kis mintaszám (N=27, illetve N=28).



1. ábra A vizsgált és a kontrollcsoport tanulóinak hány százaléka volt képes megoldani 1,2,3... feladatot, ennek megfelelően sorolód-tak a megfelelő állapotba.

A tananyag lezárását követően történő vizsgálat eredményei

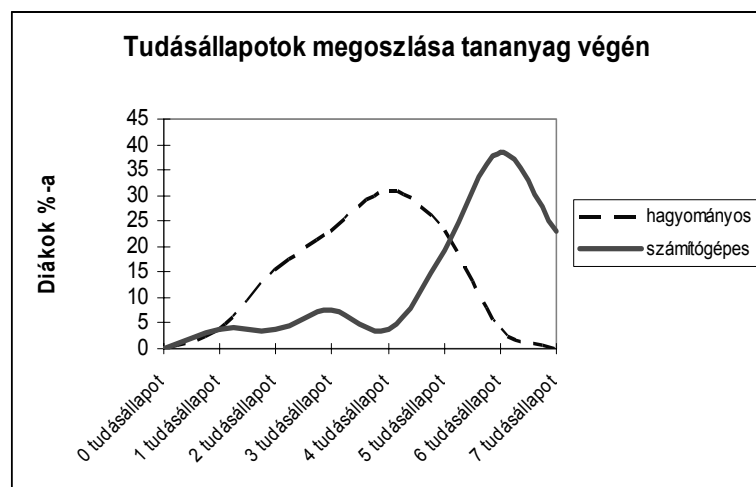
A téma feldolgozását követően megíratott feladatlap alapján készült statisztika átlagai alapján **nem volt szembeszökő különbség** a két csoport között. Az átlagok ismeretében tehát nem tűnik ki a PowerPoint használatával járó órátartás előnye a hagyományoshoz képest. A szórások tekintetében is csak egy item esetén volt tapasztalható nagyobb eltérés.

Kérdés	Csoport	Átlag	Std.szórás
3 sav felsorolása	számítógépes	2,654	0,689
	hagyományos	2,710	0,461
Hányféle kémhatás van	számítógépes	2,808	0,402
	hagyományos	2,871	0,341
Mi a pH	számítógépes	1,5	0,762
	hagyományos	1,548	0,768
pH maximuma-minimuma	számítógépes	1,962	0,196
	hagyományos	1,452	0,768

pH kiszámítása	számítógépes	0,5	0,510
	hagyományos	0,258	0,514
3 lóg felsorolása	számítógépes	2,462	0,948
	hagyományos	1,097	0,944
pH változása	számítógépes	0,577	0,504
	hagyományos	0,065	0,250

Az elvégzett függetlenségvizsgálat szerint is csak három kérdés esetén volt szignifikáns különbség a kétféle módszert használó csoport között. Ezek a pH maximuma-minimuma, a 3 lóg felsorolása és a pH változása.

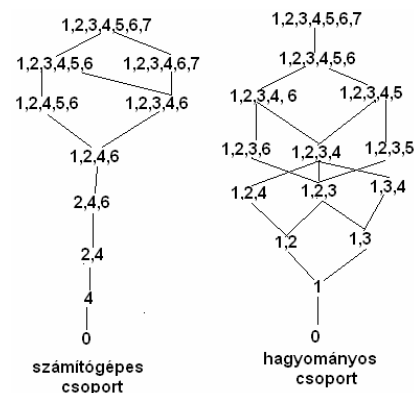
Ennél nagyobb különbséget sugall a két csoport között a tudástér elmélet alapján történő vizsgálódásom. Ekkor a tudásállapotok megoszlására a következő görbék adódnak:



2. ábra A tanulók hány százaléka volt képes egy, kettő, három stb. feladatot helyesen megoldani a tantárgyi blokk végén

Az 1. ábrán még egymásra simuló két haranggörbe egyaránt a növekvő tudás irányába mozdult el. Az előzetes felmérésnél a két görbe maximumát a két tudásállapotnyi helyre lehetett tenni; ehhez képest a számítógépes csoport tudásállapotait leíró haranggörbe négy állapottal mozdult el, a kontroll csoporté viszont csak kettőt.

Ha az optimalizált tudásszerkezet vizsgáljuk, azaz számítógépes módszerrel elkészítjük a csoport tudásszerkezetének lényegét tükröző gráfot, a tudástér; láthatjuk a gráf bonyolultságából, hogy a számítógép használata révén a pedagógus sikeresebb volt az oktatási útvonal meghatározásában. A diákok többsége a pedagógus által tematizált utat választotta. Az órai és otthoni számítógép használat révén létrejött tudástér lényegesebben egyszerűbb a hagyományos módszerrel előálló tudástérnél.



3. ábra A téma feldolgozását követő tudástér gráfok
Számítógépes csoport esetén $\chi^2=2,800$ $p=0,995$
Hagyományos csoport esetén $\chi^2=0,996$ $p=0,995$

A tananyag megőrződése

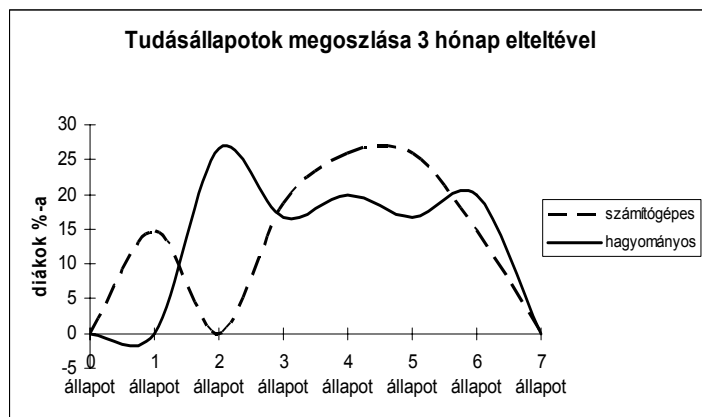
A három hónap elteltével történő vizsgálat az átlagokban nem talált egyértelmű összefüggést valamely módszer egyértelmű hatásossága mellett.

	Csoport	Átlag	Szórás
3 savas anyag	számítógépes	2,33	0,92
	hagyományos	2,60	0,67
hány fajta kémhatás	számítógépes	2,67	0,68
	hagyományos	2,93	0,25
mi az a pH	számítógépes	1,33	0,96
	hagyományos	1,1	0,96

pH max-min	számítógépes	1,52	0,64
	hagyományos	1,23	0,90
pH kiszámítása	számítógépes	0,04	0,19
	hagyományos	0,20	0,41
3 bázikus anyag	számítógépes	1,63	1,04
	hagyományos	1,07	0,74
pH változása	számítógépes	0,37	0,49
	hagyományos	0,37	0,49

A függetlenségi tesztet elvégezve is azt tapasztaltam, hogy – a három kémhatás és a három lúgos kémhatású anyag ismerete kivételével – **nem található szignifikáns ($p < 0,05$) különbség a két csoport tudása között.**

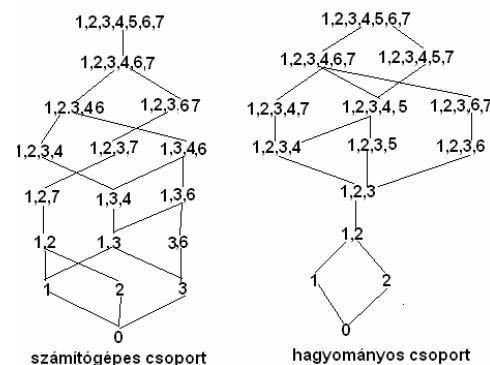
A tudásállapotok eloszlása meglepő eredményt produkált. A számítógépes csoport haranggörbéje a 6 tudásállapotnál lévő maximumról visszahúzódott 4,5-re, míg a hagyományos csoporté a 4-es értékről felment 4,5-re (4. ábra). Azaz módszertől függetlenül a két csoport tudásállapot megoszlása közel hasonló. A t-próba azon megállapítását, hogy a két csoport tudása közel homogénnek tekinthető, ez is megerősíti.



4. ábra A nyári szünet tudást törő hatását megkaphatjuk, ha összehasonlítjuk ezt az ábrát a 2. ábrával, a tananyagátadást követően tapasztalt megoszlással

A három hónap alatt bekövetkező felejtés nem egyszerűen csökkenti a tudás mennyiségét, hanem át is rendezi az egyes elemeit. Látható,

hogy az „utóérés” hatásaként a számítógépes csoportnál lényegesen bonyolultabbá vált a gráf a tananyag végén tapasztalható képest (vö. 3. ábra), míg a hagyományos csoport esetében tulajdonképpen ugyanolyan bonyolult maradt, bár átrendeződött.



5. ábra Három hónap múlva a tudástér gráfok

Számítógépes csoport esetén

$$\chi^2=2,707 \quad p=0,995$$

Hagyományos csoport esetén

$$\chi^2=3,226 \quad p=0,995$$

Hogy valójában mekkora volt a tananyag megtartása, ezt a következő képlettel számoltam ki:

$$100 \cdot \frac{3 \text{ hónap elteltével mért átlag} - \text{előzetes felmérés átlaga}}{\text{tananyag végén mért átlag} - \text{előzetes felmérés átlaga}}$$

item maximális pontja

Ezzel a számítási módszerrel a hagyományos csoportnál 3 hónap múlva a hét item átlagát tekintve 25,6%-os a tudás megtartása, míg a számítógépes csoport esetén ez egy kicsivel jobb értéket, 30,3%-ot eredményezett.

Összegzés

A tudástér-elmélet segítségünkre lehet, ha a tanulói tudásszerkezetben végbement változás finomszerkezetét szeretnénk feltárni. A módszer segítségével nyomon követhető, hogy a pedagógus által az oktatása során hasznosnak tartott módszer mennyire volt fogadóképes a diákok részéről, mennyire sikerült tematizálnia az útvonalat.

Láthatóvá vált, hogy a kevesebb vizuális segítséget adó hagyományos módszer, jóval nagyobb „zavart” keltett a diákok tudásterében az új ismeret rögzítésekor. Sokkal több kapcsolat mutatható ki a csoportot alkotó diákok közös tudásterének elemei között. Ebben a zavart szerkezetben három hónap elteltével letisztulás mutatkozott.

A számítógépes csoport tanulói sikeresebben tudták az előismeret-ekhez kapcsolni a tanultakat. Fejlődésük egyértelműen nagyobb volt, mint kontrollcsoportos társaiké. Az oktatási folyamat végén egy nagyon egyszerű gráf jellemezte tudásterüket. Azonban az ismeretek rögzülése nem volt megfelelő, hiszen három hónap múlva a régi ismereteik sok esetben felülírták az újonnan szerzett tudásanyagot. Az új és régi ismereteik keveredése történt meg, és az így kapott tudástér is meglehetősen összetetté vált.

A számítógép használata - még így a legegyszerűbb módon, PowerPointot használva is - hatásosabb, mint a hagyományos módon vezetett óra. Ez a hatásosság mérésben azonnal, már a tananyagátadás végén jelentkezett. A diákok tudásteré rendezettebbé, koherensebbé vált. A vizualizáció, egy bizonyos szintű interaktivitás segített a diákoknak abban, hogy az új ismereteiket megfelelő módon illesszék az előzetes ismereteikhez.

A tudás megtartásában már nem volt egyértelműen kimutatható a módszer előnye. Egyik okát abban látom, hogy az írásbeli rögzítés elmaradt, a készen kapott digitális óravázlat miatt, és pusztán a vizuális és verbális közlés hatására nem történt meg az ismeretek olyan mértékű rögzülése a hosszú távú memóriában, mint azt néhány esetben a kontrollcsoportnál találtam. Mivel nagyobb mennyiségű tudást szereztek meg, mint a kontrollcsoport, és a tudásuk nagyobb százalékban őrződött meg (30,3% szemben a 25,6%-kal), ennél fogva a megszerzett tudásból is nagyobb mennyiség őrződött meg memóriájukban.

Bár felhasznált módszer a legprimitívebb az IKT eszköztárából, a tudásmegtartásra, az audiovizuális oktatás 30 nap elteltére vonatkozó re-

tenciós százalékának irodalmi adatánál (20%) nagyobb érték adódott. Nyilvánvaló, hogy egy nagy pedagógiai műgonddal elkészített, multimédiás, hipermédiás taneszköz ennél jóval nagyobb hatásfokot eredményezhet.

Irodalomjegyzék

- Arasasingham, R., Taagepera, M., Potter, F., Martorell, I. és Lonjers, S. (2005): Assessing the effect of web-based learning tools on student understanding of stoichiometry using knowledge space theory. *Journal of Chemical Education*, 8. 1251-1262.
- Baggett, P. (1984). Role of temporal overlap of visual and auditory material in forming dual media associations. *Journal of Educational Psychology*, 76, 408-417. In: Michael J. Sanger Computer Animations in Chemistry: What We Have Learned <http://faculty.cns.uni.edu/~sanger/Review.htm>
- Beets, S.D., & Lobingier, P. (2001). Pedagogical techniques: Student performance and preferences. *Journal of Educations for Business*, March/April 231-235.
- Clark, R. (1993). Reconsidering research on learning from media. *Review of Educational Research*, 53, 445-459.
- Court M., L. Tung, R. Shehab, T. R. Rhoads és T. Ashford (2003): An adaptable learning environment that is centred on student learning and knowledge resolution *World Transactions on Engineering and Technology Education* 2. No.1, 2003.
- Doignon, J-P. és Falmagne, J-C. (1999): *Knowledge Spaces*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Mayer, R. E.; Gallini, J. K. (1990). When is an illustration worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology*, 82,
- Paivio, A. (1991). Images in Mind: The Evolution of a Theory. New York: Harvester Wheatsheaf. In: Michael J. Sanger Computer Animations in Chemistry: What We Have Learned <http://faculty.cns.uni.edu/~sanger/Review.htm>
- Russell, J. W.; Kozma, R. B.; Jones, T.; Wykoff, J.; Marx, N.; Davis, J. (1997). Use of simultaneous-synchronized macroscopic, microscopic, and symbolic representations to enhance the teaching and learning of chemical concepts. *Journal of Chemical Education*, 74, 330-334.
- Sanger, M. J.; Brecheisen, D. M.; Hynek, B. M. (2001). Can computer

animations affect college biology students' conceptions about diffusion & osmosis? *American Biology Teacher*, 63, 104-109. In: Michael J. Sanger: *Computer Animations in Chemistry: What We Have Learned* <http://faculty.cns.uni.edu/~sanger/Review.htm>

Sloan J. és T. Thompson (2001): Comparison of Hypermedia Learning and Traditional Instruction on Knowledge Acquisition and Retention *Journal of Educational Research* Vol.94. 4.

www.woodford.k12.ky.us/technology/trt/jsloan/electronicportfolio/hypermedia2.htm

Takács Viola (2000): *A Galois-gráfok pedagógiai alkalmazása*. Iskolakultúra-könyvek, 6. (Sorozatszerk.: Géczi János), Pécs.

Tóth Zoltán (2005): A tudásszerkezet és a tudás szerveződésének vizsgálata a tudástér-elmélet alapján. *Magyar Pedagógia* 105(1), 59-82

Williamson, V. M.; Abraham, M. R. (1995). The effects of computer animation on the particulate mental models of college chemistry students. *Journal of Research in Science Teaching*, 32, 521-534.

A kutatást az OTKA - T-049379 - támogatta