



A természettudományos gondolkodás fejlesztése és értékelése

Philip Adey

Kings' College London Department of Education

Csapó Benő

Szegedi Tudományegyetem Neveléstudományi Intézet

Bevezetés

A természettudomány tanítását mindig is az egyik legjobb eszköznek tekintették a tanulók értelmének fejlesztéséhez. Általánosan elfogadott, hogy a természettudományok művelése, empirikus kutatások végzése, kísérletek megtervezése és végrehajtása, megfigyelések eredményeinek elrendezése és az értelmező elméletek megalkotása a gondolkodás legszisztematikusabb formáit igénylő tevékenységek egyike. Az a tény, hogy a tudományos elméletek megértése fejlett gondolkodási képességeket igényel, ahhoz a feltételezéshez vezetett, hogy a természettudományok iskolai oktatása fejleszti a tanulók gondolkodási képességeit is. Ez valószínűleg mindig igaz volt azon tanulók esetében, akiknek valóban sikerült elmélyülniük a természettudományokban, de a többségre nem igazolódott ez a feltételezés, mivel a tudás közvetítését többnyire nem igazították a tanulók képességeinek aktuális fejlettségéhez.

Azt, hogy a természettudományok tanítása elősegíti a gondolkodás fejlődését, esetenként csak érvként használták arra, hogy megnöveljék a természettudományok részesedését az iskolai tantervekben. A természettudományos eredmények gyors szaporodása és az iskolai tanrendbe történő áttemelése hatására azonban gyakran olyan mennyiségű tudományos tan-

anyag alakult ki, amelyet a tanulók képtelenek voltak feldolgozni és megérteni. A huszadik század második feléig, a megfelelő pszichológiai elméletek és a természettudományos oktatás hatásait felmérő bizonyíték alapú módszerek hiányában lehetetlen volt a tanulók gondolkodási képességének szisztematikus fejlesztését előirányzó ambiciózus célok megvalósítása.

Az absztrakció szintje, a komplexitás és a tananyagok összeállítása, valamint a tanulók aktuális kognitív fejlettsége közötti szakadék két oldalról is szűkíthető. Egyfelől a tananyagokat a tanulók pszichológiai, fejlődési sajátosságaihoz kell igazítani. Ehhez több információra van szükség a tanulók aktuális fejlettségi szintjéről, és kellene a tanulást hatékonyabban támogató, egyénre szabott tanítási módszerek is. Másfelől, fel kell gyorsítani a tanulók kognitív fejlődését; gondolkodási szintjüket a tanulási feladat szükségleteihez kellett emelni. A kutatások igazolták, hogy speciális tevékenységekkel és gyakorlatokkal a fejlődés serkenthető, és a természettudomány tanulása számos hatékony lehetőséget kínál a tanulók kognitív fejlődésének felgyorsítására. A tanulók gondolkodási képességeinek rendszeres felmérése mindkét irányból megkönnyítheti ezt a korrekciót (*Glynn, Yeany és Britton, 1991*).

Ebben a fejezetben először áttekintjük a természettudományos oktatáshoz kapcsolódó, kognitív fejlődéssel foglalkozó pszichológiai és oktatáskutatási eredményeket. Ezután összefoglaljuk, hogy milyen gondolkodási folyamatokat lehet elsősorban fejleszteni a természettudományos oktatás keretében. Majd néhány olyan módszer bemutatásával szemléltetjük a lehetőségeket, amelyek felhasználják a természettudományos oktatás eredményeit, és a tanulók gondolkodási folyamatainak hatékonyabb fejlesztésére törekszenek. Végül áttekintjük, hogy ezeket a gondolkodási folyamatokat hogyan lehet az eredményesebb tanulás érdekében felmérni, diagnosztizálni.

Tudományos gondolkodás és kognitív fejlődés iskolai kontextusban

Tudományos gondolkodás és általános gondolkodás

Vajon különleges-e a tudományos gondolkodás? Vagyis egyértelműen különbözik-e a tudományos gondolkodás más területek gondolkodási folyamataitól? Nyilvánvalóan van néhány különleges vonása, de kérdéses, hogy ezek milyen mértékben egyedi megnyilvánulásai az általános emberi információfeldolgozásnak.

Az egyéni tanulást, megismerést gyakran hasonlítják a tudományos felfedezéshez, kutatáshoz. Bár vannak távoli analógiák a tudományos felfedezés logikája és az egyéni gondolkodás között, jelentősek a különbségek is (Howson és Urbach, 1996; Johnson-Laird, 2006). Az egyik legfontosabb különbség az emberi értelem fejlődésének természetéből következik. A gyermekek hosszú fejlődési folyamat során, a környezetből érkező ingerek feldolgozása révén érik el a gondolkodás adott szintjeit. Bár a tudomány is hosszabb fejlődés eredményeként érte el jelenlegi formáját, az a logikai rendszer, amelynek megértését a gyermekektől elvárjuk, kész, stabil szerkezet, míg a rendszer elsajátítására törekvő gyermekek különböző fejlődési stádiumban lehetnek.

Jean Piaget és munkatársai a tudományos gondolkodást kétségkívül az általános intellektuális folyamatok tipikus megnyilvánulásának tekintették. A gyerekek gondolkodásának fejlődését a csecsemőkortól a kamaszkorig vizsgálták, és olyan gyakorlati feladatokat alkalmaztak, amelyek az iskolai természettudományos kísérletekben is szerepelnek. A korai fázisban a tárgyak nagyság szerinti elrendezése szerepelt a feladatok között, a megőrzés (konzerváció) felfedezése, az ok és okozat közötti kapcsolat felderítése, a változók és a valószínűségek kontrollja (pl. Inhelder és Piaget, 1958; Piaget és Inhelder, 1974, 1976). Olyan feladatok ezek, amelyeket a matematikát vagy természettudományi tárgyakat oktató tanárok is szívesen alkalmaznak saját óráikon. A gyerekeknek ezekben a tudományos feladatokban elért teljesítményéből az általános kognitív fejlődéssel kapcsolatos következtetéseket vontak le. Az olyan nem verbális általános intelligenciatesztek, mint a Raven-teszt (Raven, 1960) és a Calvert-teszt (Calvert, 1986) is a vizsgált személyek induktív és deduktív gondolkodási

képességeit méri fel, amelyek szintén alapvető komponensei a tudományos gondolkodásnak.

Összességében elmondható, hogy mindaz, amit a tudományos gondolkodásról megállapíthatunk, nagyrészt kiterjeszthető a gondolkodás általános folyamataira is. Ezt a megfontolást számos empirikusan megalapozott modell is megerősíti. Bár a kognitív fejlődés *Piaget* által adott leírása, a fejlődés általános fázisai eredetileg a gyerekek tudományos kísérletekhez kapcsolódó gondolkodását jellemezték, a konkrét műveletekre vagy az absztrakt gondolkodásra vonatkozó megállapításokat könnyen lehet alkalmazni a tanulás tetszőleges formájára. Továbbá, amint később részletesebben bemutatjuk, a tudományos gondolkodás számos meghatározó komponenséről, például az induktív gondolkodásról azt is kimutatták, hogy olyan távoli területeken is hozzájárul a tanulás sikeréhez, mint az anyanyelv vagy egy második nyelv elsajátítása (*Csapó és Nikolov, 2009*). Ez ugyancsak a tudományos gondolkodás és az általános gondolkodás közeli kapcsolatára utal.

Amellett, hogy elfogadjuk a tudományos és a hétköznapi gondolkodás alapvető hasonlóságára vonatkozó megállapításokat, érdemes rámutatni az esetleges különbségekre is. Tekintsük az általános gondolkodáshoz kapcsolódó képességek következő listáját (*McGuinness, 2005* alapján):

- (1) mintázatok készítése az egész/rész és a hasonlóságok/különbségek elemzésével
- (2) előrejelzés és a következtetések igazolása
- (3) ok-okozati viszonyok kikövetkeztetése
- (4) elképzelések, modellek és lehetőségek megalkotása
- (5) többféle szempont egyidejű alkalmazása
- (6) problémamegoldás és a megoldások értékelése
- (7) érvek és ellenérvek mérlegelése
- (8) döntéshozatal.

Az első három kifejezetten a tudományos gondolkodás lényegéhez tartozik. A negyedik, az elképzelések és modellek megalkotása szintén fontos a tudományban, továbbá más formában a művészeti és az irodalmi alkotásokban is központi szerepet játszik. Az ötödik, a többféle nézőpont szükségességének felismerése fontos lehet a tudományos megismerés határvidékein, ahol látszólag egymásnak ellentmondó modelleket kell integrálni (pl. a hullám-részecske kettőség), de iskolai szinten ez nem annyira a természettudományra, mint inkább a történelemre vagy a társadalom-

tudományokra jellemző, ahol a magas szintű gondolkodásba beletartozik az események többféle különböző szempontú értékelése is. A több szempontú mérlegelésnek érzelmi töltése is lehet (*megértem az ellenfelem álláspontját?*), ez azonban – legalábbis elméletileg – kevésbé gyakori a természettudományos gondolkodásban. Fontos lehet azonban a tanításban: a tárgyalt jelenségekört a tanároknak gyakran a gyermekek szempontjából is látniuk kell, hogy megértsék az ő gondolkodásukat, s azt, hogy vajon miért juthatnak a szakemberekétől eltérő következtetésekre. Az általános gondolkodáshoz kapcsolódó utolsó három képesség elég általános, és a természettudomány határain messze túl is érvényes. Különösen a „problémamegoldás” tűnik egy olyan Jolly Joker-kifejezésnek, ami sokféle tudományos és hétköznapi tevékenységet is felölel. A problémamegoldás a PISA felmérések tematikájába is bekerült (OECD, 2003), egyrészt illusztrálva mérésének fontosságát, másrészt rámutatva arra, hogy olyan további képességeket is magában foglal, amelyeket a természettudományi tesztek nem vagy nem kellő részletességgel fednek le.

A gondolkodás általános és specifikus folyamatai közötti különbségek figyelembevétele arra utal, hogy a gondolkodás fejlesztésében kiemelkedő szerepet játszik a sokoldalú, különböző tartalmakhoz kapcsolt fejlesztő munka. Ha a gondolkodási képességek mindegyike viszonylag független lenne egymástól, akkor mindegyiknek saját jogán kellene fejlődnie. Ekkor elképzelhető lenne egy olyan személy, aki jó eredményt ér el az ok-okozati viszonytal kapcsolatos gondolkodásban, de rosszul teljesít a döntéshozatalban. Az ilyen elkülönülés azonban viszonylag ritka. Sokkal inkább elfogadható, hogy minden egyes gondolkodási képességet az alapjául szolgáló általános intelligencia kifejeződésének tekintünk. Ebben az esetben a gondolkodási képességek bármilyen általunk favorizált alcsoportjának fejlesztése bizonyos mértékig transzferhatást gyakorol az egyébként külön nem fejlesztett képességekre is.

Másutt (*Adey, Csapo, Demetriou, Hautamäki és Shayer, 2007*) már érveltünk amellett, hogy valóban létezik az általános intelligencia, amely az oktatás révén alakítható, és amely így megteremti annak lehetőségét is, hogy az egyes területeken fejlesztett gondolkodási képességek transzferálódjanak más területekre. Ez a modell feltételezi, hogy a képességek hierarchikus rendszerének legfelső szintjén található egy általános processzor, s alatta helyezkednek el a specializált feldolgozó rendszerek csoportjai (*Demetriou, 1993*). Így válik lehetővé, hogy a gondolkodás

különböző területei (mint a kvantitatív-relációs, a térbeli) bizonyos mértékig egymástól függetlenül változhatnak, ugyanakkor egymással kölcsönhatásban is fejlődhetnek. Ennek a modellnek alapvető sajátossága, hogy a specializált rendszerek fejlődését korlátozza, ugyanakkor meg is nyitja az utat az általános intellektuális fejlődéshez és annak végrehajtói kontrolljához (önszabályozás). Ezt a modellt, amely termékeny talajul szolgál a természettudomány oktatási módszereinek megújításához és a tudományos gondolkodás felmérésének megalapozásához, széles körben elvégzett vizsgálatokon alapuló empirikus bizonyítékok támasztják alá.

Tanulás és fejlődés

Iskolai kontextusban fejlődésről és fejlesztésről beszélve szükség van a tanulással való kapcsolat értelmezésére is. A *tanulás* és a *fejlődés* közötti különbséget *Vigotszkij* fejtette ki bővebben. „(*Vigotszkij*) úgy gondolja, hogy a részterületeken folytatott formális oktatás bizonyos általános folyamatokon keresztül kétségkívül hatással van a tudás más területeinek fejlődésére...” (*Tryphon* és *Vonèche*, 1996. 6. o.). Valóban, a legközelebbi fejlődési zóna egész koncepcióját úgy lehet tekinteni, mint *Vigotszkij* kísérletét a *tanulás* és a *fejlődés* viszonyának megmagyarázására.

Bár a két fogalom nem különíthető el élesen, extrém (sztereotip) példákkal mindkettő jellemezhető. Szélsőséges értelemben a *tanulás* tekinthető olyan egyszerű ismeretek elsajátításának, mint a szavak helyesírása vagy a szorzótábla memorizálása, míg a *fejlődés* olyan funkciókhoz kapcsolódik, amelyek az érés során bontakoznak ki, és amelyekre a környezet közvetlenül csak kisebb mértékben vagy egyáltalán nincs hatással. A *fejlődés* szerves folyamat, melynek minden szakasza az előzőben gyökerezik.

Természetesen, a valós életben ebben a sztereotip értelemben nem léteznek szintiszta példák a *tanulásra* vagy a *fejlődésre* – a *fejlődés* által nem érintett *tanulás* és a *tanulás* által nem érintett *fejlődés* nehezen értelmezhető. Az oktatás terén megfigyelhető félreértésekben gyakran az ilyen sztereotípiákba vetett téves hit rejtőzik. Hit például abban, hogy a kognitív fejlődést vagy az intelligencia kibontakozását kizárólag az idő és az öröklődés szabályozza, vagy abban, hogy a fogalmak elsajátításához csak megfelelő mennyiségű *tanulás* szükséges, tekintet nélkül azok összetettségére.

Az utóbbi problémát jól illusztrálja egy matematikatanításból vett példa. A magyar tanulók a negyedik évfolyam végére megtanulják a mértékegységek átváltását. Többnyire egészen jól oldanak meg olyan feladatokat, melyekben órát percre, métert milliméterre kell váltani, többnyire az átváltás szabályait memorizálva, és mechanikusan begyakorolva a megfelelő műveleteket. Azután a mértékváltás tanulása véget ér, tovább lépnek a tanterv következő fejezeteire, és kezdik elfelejteni, amit a mértékváltásról tanultak. Másrészről arányossági (proporcionális) gondolkodásuk fejlettsége abban az életkorban még alacsonyabb szinten van, és mivel a mértékváltás tanulására alkalmazott gyakorlatok túl specifikusak, azok alig vannak hatással az arányossági gondolkodás fejlődésére. Később, hetedik évfolyam körül ismét jobb eredményt érnek el a mértékváltásos feladatok megoldásában, mivel az lényegében a proporcionális gondolkodás speciális esete, ami arra az időre már sokkal fejlettebb szintet ér el (Csapó, 2003).

Számos empirikus vizsgálat eredményei tükrözik, hogy a természettudományok tanulása, nagyobb mennyiségű tananyag elsajátítása nem vezet szükségszerűen a tudományos gondolkodás erőteljesebb fejlődéséhez. Például Bao és mtsai. kínai és amerikai egyetemisták fizikatudását és tudományos gondolkodását hasonlították össze. Azt találták, hogy a kínai diákok az alaposabb középiskolai természettudomány-tanításnak tulajdoníthatóan jobb eredményt értek el a fizikateszteken, de a gondolkodástereszteken elért teljesítményük amerikai társaikéhoz volt hasonló (Bao és mtsai., 2009).

A merev szembeállítás helyett sokkal hasznosabb olyan fogalmakként tekinteni a tanulásra és a fejlődésre, mint amelyek egy spektrum két végén helyezkednek el. Az ismeretek egyszerű elsajátítása a *tanulás* oldalon van (de bizonyos mértékig még mindig alárendelve az egyén fejlettségi szintjének), az általános intelligencia fejlődése pedig a *fejlődés* oldalon áll (de még mindig fogékonyan az oktatási ingerekre). Az összetett fogalmak elsajátítása (mint a fotoszintézis, a történelmi események többféle indítóoka) a *tanulás-fejlődés* spektrumban valahol középen helyezkedik el, mivel bonyolultságuk miatt sok éven át tartó tanulás révén alakulnak ki, ugyanakkor elsajátításuknak komoly szélesebb körű fejlesztő hatása is van. A tudományos gondolkodás fejlődése egy másik példája az olyan folyamatnak, amely a központi idegrendszer fejlődésétől, valamint a megfelelő tanulási tapasztalattól is függ. Magas szintű tanulás nem mehet

végbe fejlődés nélkül, és megfelelő kognitív fejlődés nem következhet be megfelelő kognitív stimuláció (tanulási tapasztalat) nélkül.

Ennek a tanulás-fejlődés spektrumnak egyik figyelemre méltó sajátossága, hogy miközben a *tanulástól* a *fejlődés* felé haladunk, a funkciók egyre *általánosabbá* válnak. A *tanulás* oldalon az elsajátított információ specifikussá válik, és a kognitív tevékenységeknek csak szűk körében alkalmazható eredménye lesz. Egy konkrét útvonalon járó autóbusz járat-számának megtanulása nem olyan ismeret, ami más környezetben is alkalmazható. Másrészről az olyan oktatási tapasztalatok, amelyek az általános intelligencia fejlődését stimulálják, várhatóan bármelyik intellektuális területen hatással lesznek a tanulás hatékonyságára is.

A plasztikus általános intelligencia itt jellemzett modellje, vagyis hogy a gondolkodás általános képességei fogékonyak a fejlesztő hatásokra, további következményekkel jár az oktatás egészére nézve is. Arra a kérdésre később még visszatérünk, hogy a természettudományok oktatói hogyan tudják ezt a modellt úgy alkalmazni, hogy tantárgyaiknak szélesebb körű fejlesztő hatása legyen. Előbb azonban érdemes részletesebben megvizsgálni, hogy a természettudomány tanulása révén a tudományos gondolkodás mely formái és elemei fejleszthetők igazán hatékonyan.

A természettudomány tanítása során fejlesztendő gondolkodási folyamatok rendszere

A gondolkodás folyamatait számtalan pszichológiai és neveléstudományi kutatási irányzat vizsgálta és kategorizálta. A különböző megközelítések gyakran eltérő elméleti kereteket, terminológiát és módszereket alkalmaznak.

Az egyik legkorábbi tudományos pszichológiai megközelítést a pszichometriai szemléletet alkalmazta. Ennek középpontjában sokáig az intelligenciakutatás állt (egyéni különbségek pszichológiája, faktoranalitikus modellek). Az e téren végzett kutatások óriási mennyiségű adatot szolgáltatottak az általános kognitív képességek szerkezetével és rendszerével kapcsolatban, és jelentős mértékben hozzájárultak a pedagógiai felmérések fejlődéséhez is (*Carroll*, 1993).

Piaget és munkatársai a megismerés fejlődési aspektusait hangsúlyozták, és a gondolkodás fejlődését minőségileg eltérő fázisokon keresztül

írták le. *Piaget* munkássága különleges fontosságú a természettudományi oktatás szempontjából, mivel elmélete magyarázatot kínált a gondolkodási sémák eredetére. A modell szerint a külvilág tárgyain végzett műveletek belsővé válnak, interiorizálódnak, így a külső objektumok manipulációja megalapozza a magasabb rendű gondolkodási képességek kialakulását. Munkásságát számtalan neopiaget-iánus kutatás követte, melyek a kognitív fejlődés és a gondolkodás különböző modelljeinek kidolgozásához vezettek (pl.: *Demetriou*, 2004). *Piaget* elmélete és az annak nyomán kibontakozó kutatások különösképpen fontosak a korai természettudomány-tanítás, a megfigyelés útján történő tapasztalatszerzés és a természettudományos kísérletezés megtervezése szempontjából.

A kognitív pszichológia újabb irányzatai az emberi gondolkodást információfeldolgozásként írják le, és különös figyelmet fordítanak azokra a különbségekre, amelyek adott területtel ismerkedő kezdők és a szakértők tudásának szerveződésében megfigyelhetők. Ez a megközelítés hasznos modelleket kínál az egyes szakmai ismeretek elsajátításának, a szakértelem kialakulásának leírására, a fejlődési és gondolkodási folyamatok értelmezésére azonban kevésbé alkalmas. A legújabb kognitív idegtudományi kutatások a gondolkodást egy további aspektusból tanulmányozzák. Eredményeiket egyelőre nem lehet közvetlenül alkalmazni a gondolkodás fejlesztésében. Mindamelllett általános felismeréseik igen fontosak az oktatás számára, mivel megerősítik az agy rendkívüli plaszticitásával kapcsolatos elgondolásokat, és az általános képességek fejleszthetőségére vonatkozó, más úton nyert eredményeket, továbbá felhívják a figyelmet a kora gyermekkori tanulás jelentőségére (*Adey, Csapó, Demetriou, Hautamäki, és Shayer*, 2007).

A tudományos gondolkodás felmérésének elméleti kereteit kidolgozó munka során mindezekből a kutatási tradíciókból meríthetünk. Figyelembe véve azonban a fejlődési aspektusokat, a felmérni kívánt csoportok életkorát és a mérések diagnosztikus orientációját, a *Piaget* munkái nyomán kibontakozó tradíciók kínálják a leghasznosabb forrásokat.

Számos módja van annak, ahogyan az a torta, amit *gondolkodásnak* nevezünk, felszeletelhető. Ebben a részben először megvizsgálunk néhány, a gondolkodásról való gondolkodást tükröző metastratégiát. Ezt követően áttekintjük a gondolkodás fontosabb általános formáit, majd néhány dichotómiát. Végül egy sor gondolkodási mintázatot mutatunk be, amelyek különösen fontos szerepet játszanak a természettudomány tanulásában.

Metastratégiák és általános gondolkodási folyamatok

Az emberi gondolkodás a gyakorlatban soha nem egyszerű mechanikus kognitív folyamat, mindig befolyásolja az aktuális helyzet és környezet, továbbá a gondolkodó egyén általános pszichológiai állapota. Még a tudományos gondolkodást is árnyalhatják olyan nemkognitív tényezők, legalábbis az általános gondolkodási folyamatok szintjén, mint például a motiváció, az érdeklődés és a kíváncsiság. A természettudományhoz kapcsolódó attitűdök formálása, értékek fejlesztése a természettudományos nevelés legfontosabb céljai közé tartozik, miként a természettudományos tudás érvényességével kapcsolatos meggyőződések és a tanulók saját tudásának státusára vonatkozó elgondolások (személyes episztemológiák) alakítása is. Ebben a fejezetben nem foglalkozunk részletesen a természettudományok tanulása során felmerülő affektív kérdésekkel, azonban a gondolkodás egyes formáinak részletes jellemzését elkezdve meg kell említenünk a kognitív és affektív folyamatok interferenciájának lehetőségét. Az itt tárgyalandó általános gondolkodási folyamatok közül affektív töltése lehet az önszabályozásnak, az érvelésnek és a kritikai gondolkodásnak is.

A metastratégiák az emberek saját gondolkodási folyamatainak irányítására vonatkozó stratégiák. Ezek szabályozhatják a gondolkodási folyamat egészét, ideértve a figyelem tudatos kontrollját, valamint a gondolkodás speciális típusai közül az egyik vagy másik alkalmazásának megválasztását. Számtalan kutatási irány foglalkozik a metastratégiák kérdéseivel. A metakogníció az egyik legáltalánosabb fogalom; a tudományos gondolkodásban is fontos szerepet játszik, és nem kisebb a jelentősége az olvasásértésben és a matematikai problémák megoldásában (Csikos, 2007). A metastratégiák alapvető fontosságúak a természettudomány tanulásában, különösen a komplex tudományos fogalmak és elméletek megértésében, elsajátításában.

Van néhány általános gondolkodási folyamat, amely jellemző az adott kontextusra vagy szituációra. Ilyenek az érvelés és a kritikai gondolkodás. Érdekes itt ezeket is röviden értelmezni.

Tárolás és előhívás

Az emlékezés folyamatainak ismerete, amit metamemóriának is neveznek, szoros kapcsolatban áll az önszabályozással, annak is az önreflektív

mechanizmusaival, azonban annál specifikusabb is, mivel csak az információk hatékony megjegyzésére irányul. Ezek a képességek segítik elő, hogy a tanuló az információt a hosszú távú memóriájában elhelyezze, és onnan szükség esetén előhívja. A hatékony bevitelhez az információk megfelelő szervezésére van szükség, mivel az emberi memória hatékonyabban tárolja az összefüggő információkat, mint a független információ-elemeket. A fejlett metamemóriaképességekkel rendelkező tanulók meg tudják különböztetni a jól szervezett tananyagot – amely esetében a megértés és elemző feldolgozás értelemgazdag fogalmi tanuláshoz vezet – a strukturálatlan információhalmaztól, amelynek elsajátítására eredményesebb stratégia a mesterséges szerkezethez kapcsolás. A hatékony emlékezés mechanizmusait már az ógörög filozófusok is tanulmányozták, az ókori római szónokok pedig speciális technikákkal (*mnemotechnikának* is nevezik) fejlesztették tovább.

Önszabályozás

Az önszabályozó tanulás kialakulása révén a tanuló saját tanulási folyamatainak irányítójává, lényegében saját tanárává válhat. A hatékony önszabályozás teszi lehetővé, hogy a tanulók a probléma releváns részeivel foglalkozzanak, saját gondolkodásukat elemezzék, a gondolkodási útvonalakat megválasszák, a tanulási folyamatot megtervezzék, majd a kivitelezést monitorozzák. Az önszabályozás segít a hibákat felismerni és a zsákutcákat kiküszöbölni. Az önszabályozásnak motivációs és egyéb érzelmi aspektusai is vannak (Molnár, 2002).

Érvelés (párbeszédes)

A párbeszédes érvelés (argumentáció) az állítások közötti ellentmondásokat és nézetkülönbségeket azonosítja. Az állításokkal összekapcsolja a támogató és a cáfoló bizonyítékokat. Mérlegel minden bizonyítékot „az egymással szembenálló nézetek relatív súlyát integráló értékelésében” (Kuhn, 1992, 157. o.). Az érvelésnek fontos szerepe van a tudomány fejlődésében. Tudományos viták lefolytatása segít a hibák megtalálásában és kiküszöbölésében, például ha a bizonyítékok láncolata nem illeszkedik szigorú logikai rendbe, vagy az eredmények nem támasztják alá a következtetéseket. A tanulók közötti vita fejleszti az állítások logikus rendbe szervezésének képességét, segíthet a téves elgondolások kiküszöbölésében. Amint Osborne (2010) rámutatott, az érvelés fontos szerepet kap a kuta-

tási eredmények közzétételében és elfogadtatásában, ugyanakkor az érvelésben rejlő lehetőségek a természettudományos nevelésben nagyrészt kihasználatlanok.

Kritikai gondolkodás

A kritikai gondolkodás az oktatási és iskolán kívüli kontextusban is a leggyakrabban említett gondolkodási formák közé tartozik, és nagyon gyakran szerepel a fejlesztendőként megjelölt területek között is. Az utóbbi évtizedekben elsősorban az információrobbanás irányította rá a figyelmet a kritikai gondolkodás fejlesztésének fontosságára. Mind nagyobb szükség van az óriási mennyiségben egyszerűen elérhető információk hitelességének, megbízhatóságának ellenőrzésére. Ugyanakkor a kritikai gondolkodás meghatározásai többnyire nagyon általánosak, kevésbé operacionálizálhatóak. A kritikai gondolkodás lényegének általában a bizonyítékok, érvek összegyűjtését, kritikai értékelését és a döntések megalapozását tekintik.

A legtöbb értelmezés a kritikai gondolkodást különböző részképességek halmazaként írja le, a részképességek hosszú listáján gyakran a gondolkodás szinte minden fontos területe szerepel. A fejlett kritikai gondolkodással rendelkező egyén leggyakrabban említett tulajdonságai közé tartozik a nyitottság, az információforrások hitelességének ellenőrzésére való törekvés, a következtetések megalapozottságának ellenőrzésére irányuló igény, az érvek minőségének mérlegelése, a megfelelő kérdések megfogalmazásának képessége (Norris és Ennis, 1989; Ennis, 1995).

Ha azt keressük, mi jelenti a kritikai gondolkodás valódi többletét az összetevőiként felsoroltakhoz képest, akkor minden bizonnyal a gondolkodás folyamatának sajátos célra irányuló egybeszervezéséhez jutunk. A kritikai gondolkodás folyamata mögött többnyire határozott kritikai attitűd áll, melynek lényege az adott információk, állítások, modellek, következtetési folyamatok stb. megkérdőjelezése. A kritikus beállítódás által mozgósított gondolkodási folyamatoknak fontos szerepe van a tudományos eredmények értékelésében, a hibaforrások kiszűrésében. Kritikai elemzések készítése a tudományos kutatók rendszeres tevékenységei közé tartozik. A természettudomány tanítása hatékony gyakorló terepet kínál a kritikai gondolkodás fejlesztésére, mivel az érvek és ellenérvek hitelessége, bizonyítottsága objektív kritériumok alapján mérlegelhető.

Dichotómiák

A gondolkodás néhány formáját tulajdonságpárokkal lehet jellemezni. A következőkben felsorolt párok közül csak néhánynál merülhet fel a kérdés, hogy vajon az egyik „jobb-e”, mint a másik. A konkrét-absztrakt esetét kivéve a legmagasabb szintű gondolkodás a két típus integrációját foglalja magában, vagy pedig az adott helyzettől függ, melyik alkalmazható eredményesebben.

Kvantitatív – kvalitatív

A kvantitatív gondolkodást az olyan helyzetek jellemzik, ahol a tanulónak az adott probléma megoldásához a mennyiségekkel és a számtani műveletekkel kapcsolatos eszközöket és eljárásokat kell alkalmaznia. A kvalitatív gondolkodás inkább a változók természetére, valamint az összehasonlítás-hoz és a prioritások meghatározásához szükséges döntésekre összpontosít. A legösszetettebb problémák megoldásához mind a kvantitatív, mind a kvalitatív gondolkodásra szükség van.

Konkrét – absztrakt

A konkrét gondolkodás kizárólag az aktuális tárgyakra, szavakra vagy számokra, valamint a közöttük fennálló egyszerű összefüggésekre korlátozódik. Ilyenek az egyedi esetekhez, konkrét szituációkhoz köthető egyszerű matematikai műveletek, osztályozások és az egyszerű okozati összefüggések. Az absztrakt gondolkodás a tényezők képzeletbeli manipulációját teszi lehetővé. Elméleti modellek megalkotása, komplex összefüggések megértése nem lehetséges megfelelő absztrakció nélkül, miként több egymással kölcsönhatásban álló ok és hatás kapcsolatának értelmezéséhez is absztrakcióra van szükség. E fogalompár esetében nem érvényes a két tag egyenértékűsége, mivel az absztrakt gondolkodás erőteljesebb, mint a konkrét. Az absztrakciónak különböző szintjei lehetnek, az absztrakt konstrukciókból további absztrakcióval újabb absztrakt konstrukciókat lehet létrehozni. A természettudomány különösen alkalmas terepet kínál az absztrakciós képességek fejlesztésére, a konkrét-absztrakt kapcsolat magalapozására és az absztrakciós szintek közötti átjárás bemutatására.

Konvergens – divergens

A konvergens gondolkodást olyan típusú problémáknál fordul elő, amelyeknek egy helyes megoldása van, a gondolkodás ennek az egyetlen helyes megoldásnak a megtalálásához tervezett lépéseken keresztül halad előre. Különböző kiindulási helyzetekből indulhat, de a megoldás mindig egy adott eredmény felé tart. Az ilyen lépések közé tartozhat a nem lényeges változók kiküszöbölése, a többi változó kombinálása, az adatok csoportosítása és a megoldáshoz szükséges műveletek elvégzése. Ilyen gondolkodást igényel például az egyszerű fizikafeladatok megoldása. Ezzel ellentétben a divergens gondolkodás csapongó, számtalan megoldást talál, ezért különösen az olyan problémák esetében hatékony, amelyeknek nem csak egyetlen megoldása lehetséges. A divergens gondolkodás a kreativitás egyik legfontosabb komponense, olyan folyamat, amely „letér a kitaposott ösvényről”. A komplex, újszerű problémák esetében a konvergens és a divergens gondolkodásra a megoldás különböző fázisaiban egyaránt szükség lehet. A konvergens gondolkodás gyakran valamilyen feltételrendszer által jellemzett pontból indul ki, és onnan tart a különböző irányokba. Ilyen gondolkodásra van szükség például egy épület megtervezése során, amikor a megadott műszaki és gazdasági paraméterek adják a kiindulási pontot, és a lehetőségeken belül számtalan konkrét tervet lehet készíteni. A természettudományban a felfedező kutatások, bonyolultabb kísérletek megtervezése igényli a divergens gondolkodást.

Holisztikus – analitikus

A holisztikus-analitikus dichotómia a probléma megoldásával vagy az információk megjelenítésével és feldolgozásával kapcsolatos alapvető irányultságot jellemzi, amelyet kognitív stílusnak is neveznek (Davies és Graff, 2006). Az analitikus gondolkodás azokra a helyzetekre jellemző, melyekben a formális logikából származó elveket kell alkalmazni a problémák egyes részleteinek megoldásában. Ilyen például a szükséges és elégséges feltételek mérlegelése vagy az oksági viszonyok elemzése. A holisztikus gondolkodás célja a szituáció áttekintése a maga komplexitásában, a „teljes képre” alapozott konklúzió kialakítása, amikor a részletek kevesebb figyelmet kapnak. Ezzel szemben az analitikus megközelítés a részletekre fókuszál, és apránként vezet el a probléma megoldásához. Az egyoldalún alkalmazott holisztikus gondolkodás fontos részletek figyelmen kívül hagyásához vezethet, míg a túlzottan analitikus gondolkodás a meg-

oldás részleteinek koherens válasszá integrálásának hiánya miatt okozhat kudarcot. A problémamegoldás megfelelő fázisaiban mindkét gondolkodástípus fontos lehet.

Deduktív-induktív gondolkodás

A dedukció folyamata az általánostól a specifikus felé tartó gondolkodás, a premisszáktól a logikailag érvényes konklúzióig vezető folyamat. Leggyakoribb formája a kétváltozós nyelvi-logikai műveletek alkalmazása (például az implikáció értelmezése, a „ha P, akkor Q” típusú állítások); a szillogisztikus következtetésekre épülő (annak a mérlegelése, hogy a konklúzió szükségszerűen következik-e az igaznak tekintett premisszákból), vagy még általánosabban a propozicionális (a kijelentésekkel műveleteket végző, az összetett kijelentések igazságtartalmát értékelő) gondolkodás. A deduktív gondolkodás szigorú szabályokra épül, igaz premisszákból helyes következtetési formákat alkalmazva szükségszerűen vezet igaz eredményre. Ugyanakkor a deduktív következtetés önmagában nem hoz létre alapvetően új tudást, eredménye csak azt a tudást fejti ki más formában, ami már a premisszákból is benne rejtett. A természettudományos kutatásban a következtetések szigorú láncot alkotnak, a dedukció szabályainak megsértése téves eredményekre vezet. Ahogy *Piaget* vizsgálatai megmutatták, a gyermekek csak hosszabb fejlődési folyamat végén jutnak el a formális logika teljes rendszerének alkalmazásához (hozzátehetjük: ha egyáltalán eljutnak), ezért a természettudomány tanulása során megjelenő deduktív következtetések értelmi feldolgozásához korlátozott logikai eszközökkel rendelkeznek. (A természettudomány tanulásában releváns deduktív folyamatokkal kapcsolatban lásd *Vidákovich*, 1998).

Az indukció folyamata a meghatározott tényekből vagy egyedi esetekből kiindulva általános konklúzió felé vezető gondolkodás. Egyedi esetekben megjelenő szabályosságok meglátásából általános szabály vagy értelmező modell megalkotása. Az ismert egyedi esetek alapján megalkotott általános szabály érvényességét csak az ismert adatokra lehet igazolni, így az indukció révén nyert szabály igazságát általánosan nem lehet bizonyítani. Klasszikus értelemben a tudomány az indukciós és dedukciós fázisok sorozatán át halad előre, bár ez a meglehetősen idealizált kép mellőzi a véletlen felfedezések szerepét, az intuitív, kreatív kiugrásokat és zsákutcákat, melyek oly gyakran előfordulnak a valódi tudományos munkában. Mivel a pozitív példák akkumulációja nem bizonyítja az in-

dukció révén nyert teória igazát, *Popper* az indukció filozófiai értelmezésére kifinomultabb elméletet javasolt, ami a falszifikáció (megcáfolás) fogalmán alapul (*Popper*, 1972). Ennek szellemében egy elmélet érvényességét nem a vele összhangban álló példák halmozása erősíti, hanem az, ha kitartó keresés ellenére sem sikerül azokat megcáfoló tényeket találni. Az induktív gondolkodás pszichológiai folyamatai fontos szerepet játszanak a természettudomány tananyagának megértésében és a tudás új kontextusban való alkalmazásában (*Csapó*, 1997, 2001a). Fejleszthetőségét számos kísérlet bizonyította (*Hamers*, de *Koning* és *Sijtsma*, 1998; *Sanz de Acedo Lizarraga*, *Sanz de Acedo Baquedano* és *Oliver*, 2010; *Molnár*, 2011).

Gondolkodási mintázatok, műveletek, képességek

Ebben a részben azokat a specifikus gondolkodási mintázatokat, „szkémákat”, tekintjük át, amelyek különösen jellemzőek a tudományos gondolkodásra. Megnevezésükre különböző terminusokat alkalmaznak, csak a leggyakoribbakat említve: mintázatok, sémák, szkémák, műveletek, készségek és képességek. Megjegyezzük, hogy különböző kontextusban más-más terminusok lehetnek alkalmasabbak, a következőkben legáltalánosabb megnevezésként a *gondolkodási képességek* kifejezést fogjuk használni.

Az itt áttekintett gondolkodási képességek különböznek abban, hogy milyen intellektuális kapacitást igényelnek. A következőkben hozzávetőlegesen a nehézségük szerint rendezzük sorba őket. Mivel ezek a képességek valójában az általános kognitív fejlődés keretében alakulnak ki, a direkt tanítás önmagában kevésbé támogatja elsajátításukat. A tanulóknak a megfelelő stimulációkra adott válaszaik rendeződnek olyan tevékenységekké, melyek eredményeként felépülnek, kifejlődnek a megfelelő gondolkodási képességek.

Piaget és munkatársai tudományos jelenségekhez kapcsolódó egyszerű feladatokat adtak a gyermekeknek, és e tevékenységük megfigyelésével tanulmányozták ezeknek a gondolkodási műveleteknek a fejlődését (lásd *Inhelder* és *Piaget*, 1958; *Piaget* és *Inhelder*, 1974, 1976). A kísérleti terep ilyen megválasztása már előre vetítette, hogy a természettudományok tanulása kitűnő alkalmat kínál a gondolkodási képességek fejlődését stimulumáló tevékenységekre is. Más kutatók az értelmi fejlődés vizsgálatára

tesztekot használtak. Magyarországon különböző projektek keretében papír-ceruza tesztek alkalmazásával került sor némelyik *Piaget* által is tanulmányozott műveleti képesség felmérésére (*Csapó*, 2003).

Konzerváció (megmaradás)

Felnőtt számára többnyire természetes, hogy egy mennyiség (anyag-mennyiség, szám stb.) ugyanaz marad, ha nem adnak hozzá vagy nem vesznek el belőle. Valójában azonban a konzerváció is fejlődési folyamat eredménye, és a korai fejlődési szakaszban a gyermekek számára egyáltalán nem természetes, hogy egyes, lényegtelen körülmények megváltozása ellenére (például a folyadékot egy más alakú pohárba átöntve) bizonyos mennyiségek (az átöntött folyadék mennyisége) változatlanok maradnak. A számok megőrzése (két ugyanolyan gyöngysorban akkor is ugyanannyi gyöngy van, ha az egyiket megnyújtjuk) a megőrzés legegyszerűbb formája, míg annak felismerése, hogy egy szilárd tárgy vele megegyező térfogatú folyadékot szorít ki, sokkal komolyabb feladat.

Sorképzés

A sorképzés egyszerűbb esetben dolgok sorrendbe rakását jelenti egyetlen tulajdonságuk alapján, a tulajdonság növekvő vagy csökkenő értéke szerint. Bonyolultabb esetben több tulajdonság játszik szerepet. A soralkotáshoz arra is szükség van, hogy egy adott jelenséget interpretáljunk a hasonló jelenségek sorozatán belül abból a célból, hogy valamilyen elfogadható jelentést adjunk neki. Például pálcikákat sorrendbe rakhatunk hosszúságuk szerint, vagy ingereket rendezhetünk egy kvantitatív dimenzió szerint (*Inhelder* és *Piaget*, 1958; *Nagy*, 1987). A sorképzés kialakulása elengedhetetlen előfeltétele a bonyolultabb rendszerezési feladatok megoldásának, például egy kísérletben a különböző összeállítások kipróbálásának.

A sorképzés lényegében relációkkal való foglalkozást jelent. A relációk egyik leggyakrabban értékelendő jellemzője a tranzitivitás. A tranzitivitás megértése lehetővé teszi két vagy több reláció kombinálását, ami újabb vagy általánosabb relációk felismeréséhez vezet (*Glenda*, 1996). A tudományos gondolkodás ugyancsak gyakran igényli különböző relációk kezelését.

Osztályozás

Az osztályozás tárgyak vagy fogalmak besorolása csoportba aszerint, hogy rendelkeznek-e a csoport jellemzőivel. Az osztályozás legegyszerűbb formájában csak olyan dolgok csoportosítását igényli, amelyeknek egy változója két értéket vehet fel. (Dichotóm osztályozás, például a következő feladat: „Csoportosítsd ezeket a kék és piros négyzeteket úgy, hogy mindkét csoportban ugyanolyanok legyenek.”) Ahogyan a változók és értékek száma nő, úgy lesz egyre nehezebb a feladat. További nehézséget jelenthetnek az üres kategóriák, a kategóriák beágyazódásai (két kategória, amelyben az egyik kategória minden tagja a másikba is tartozik) és a kétirányú osztályozás („az oroszok emléksők, a gerinceseken belül, az állatokon belül, de egyben húsevők is”). Komplex struktúrák esetében többszörös osztályozásra és hierarchikus osztályozásra is szükség lehet (*Inhelder és Piaget, 1958; Nagy, 1987*).

Kombinatív gondolkodás

A kombinatív gondolkodás az a folyamat, melynek során megadott elemekből a feltételek által meghatározott összeállításokat kell létrehozni. Az elemek lehetnek explicit formában megadottak vagy a helyzet által megszabottak, hasonlóképpen a feltételek is lehetnek nyilvánvalóak, esetleg azonban a szituációból kell kikövetkeztetni őket. Kombinatív gondolkodásra olyan helyzetekben van szükség, amelyekben a tanulónak számos tényezőt és azok sokféle kapcsolatát kell megvizsgálnia. Fontosra kell vennie az összes lehetséges összeállítást, egyenként értékelnie kell, hogy azok megfelelnek-e a feltételeknek vagy valamilyen objektív korlátnak. Gyakran szükséges az elméletileg lehetséges és a gyakorlatilag megvalósítható esetek megkülönböztetése is. Ha a feltételek és a korlátozások nagyszámú összeállítást tesznek lehetővé, az összes összeállítást csak akkor lehet létrehozni, ha felsorolásukra valamilyen rendszer szerint kerül sor (A kombinatív műveletek taxonómiáját illetően lásd *Csapó, 1988; fejlődési adatokra vonatkozóan Csapó, 2001b; Nagy, 2004*).

Kísérletek megtervezésekor gyakran szükséges a feltételek vagy a változók értékei kombinációjának szisztematikus létrehozása (*Inhelder és Piaget, 1958; Kishta, 1979, Schröder, Bödeker, Edelstein és Teo, 2000*). A fizikai és kémiai kísérletek sokféle alkalmat teremtenek a kombinatív gondolkodás fejlesztésére, megadott feltételeknek megfelelő összeállítások létrehozására, a különböző esetek szisztematikus vizsgálá-

tára. (A kombinatív képesség fejleszthetőségével kapcsolatban lásd még Csapó, 2003.)

Analogikus gondolkodás

Az analógiás gondolkodás alkalmazására akkor kerülhet sor, amikor a tanulóknak olyan problémát kell megoldania, amelyhez hasonlóan korábban már megoldott. Az analógiás gondolkodás egyedi jelenségek között teremt kapcsolatot, több egyedi jelenség közötti analógiák, szabályosságok felismerése elvezet az induktív gondolkodáshoz (Pólya, 1988). Az analógiának két oldala van, egy már ismert helyzet (vagy jelenség) és az adott új, ismeretlen helyzet. Ezek között kell a hasonlóságokat felismerni, és az ismert jelenségről rendelkezésre álló tudást kell az új helyzetre átvinni. Az analógiás gondolkodás alkalmazása az új összefüggések felismerésének és megértésének egyik leggyakoribb mechanizmusa. (Például a mechanikus rezgések alapján lehet megérteni az elektromos rezgéseket.) Az analógiás gondolkodásra épülő modellezés segíthet a közvetlen érzékeléssel nem megfigyelhető jelenségek megértésében is. (Például az áramkörben folyó áramot lehet vízfolyással modellezni.) Az analógiás gondolkodás a tudástranzfer egyik fontos mechanizmusa, így fejlettsége meghatározza a megszerzett tudás alkalmazhatóságát is (Klauer, 1989a). A természettudományok tanulása számtalan lehetőséget kínál az analógikus gondolkodás fejlesztésére (Nagy, 2006).

Arányossági gondolkodás

Az arányossági (*proporcionális*) gondolkodás lényege két mennyiség együttes változása: ahányszorosára változik az egyik mennyiség, ugyanannyiszorosára változik a másik mennyiség is. Az arányos (lineáris) összefüggések a hétköznapi életben tapasztalt és a természettudomány tanulása során elemzett leggyakoribb összefüggések közé tartoznak. Ennek ellenére az arányossági gondolkodás kialakulása hosszú folyamat. Az arányossági gondolkodás viszonylagos bonyolultságát az adja, hogy változások többszöri összehasonlítását és az annak eredményeként nyert információk tárolását és feldolgozását igényli. Az együttlátás lehet nemlineáris (pl. exponenciális) is; az ilyen összefüggések lineárisnak tekintése túlzó leegyszerűsítést vagy súlyos gondolkodási hibát eredményezhet. Az arányossági gondolkodás kialakulása szorosan összefügg a gondolkodás már területeivel (Schröder, Bödeker, Edelstein és Teo, 2000), és a kü-

lönféle összetettebb, analogikus és induktív gondolkodási folyamatokban is szerepet játszik (Csapó, 1997). A legtöbb alapvető tudományos fogalom (például sebesség, impulzus, belső energia) megértéséhez is szükséges az arányok megfelelő kezelése. Az iskolában tanult természettudományos tananyag megértésének egyik akadálya az, hogy a tanulók még nem rendelkeznek kellően fejlett arányossági gondolkodással (Kishta, 1979). Ugyanakkor az újabb kutatások igazolták, hogy bár az arányossági gondolkodás hosszú időn át fejlődik (Boyer, Levine és Huttenlocher, 2008), stimuláló tanítással a folyamat befolyásolható, gyorsítható (Jitendra és mtsai., 2009).

Extrapolálás

Az extrapolálás képessége révén tudnak a tanulók adott területen összegyűjtött adatokból azok mintázata alapján egy közvetlenül meg nem figyelt területre következtetni. Az extrapolálás szorosan kapcsolódik az analogikus és induktív gondolkodáshoz, amennyiben az megfigyelések szabályszerűségeinek felismerése és új területekre való alkalmazása.

Egyszerűbb esetben az extrapoláció a felismert szabályok, összefüggések kiterjesztése a mérési vagy megfigyelési tartományon túlra. Bonyolultabb esetben az extrapoláció komplex szabályok kiterjesztését jelenti azon túlra, ahonnan a szabályok származnak. Az extrapoláció érvényessége általában közvetlenül nem bizonyítható, és mindig fennáll a hibás extrapoláció lehetősége. A hiba elkövetésének valószínűsége nő a kiindulópont és az extrapoláció területe közötti távolsággal. A természettudományos kísérletek eredményeinek általánosítása általában az extrapolációt igényli, így a kísérletek alkalmasak az extrapoláció lehetőségeinek és korlátjainak bemutatására, a helyes extrapolációz szükséges készségek fejlesztésére.

Valószínűségi gondolkodás

A legtöbb tudományosan vizsgált jelenség, miként a hétköznapi élet sok eseménye is, valószínűségi természetű. Mindig van bizonyos valószínűsége annak, hogy adott napon esik, hogy egy adott csapat megnyer egy mérkőzést, vagy hogy emelkedik az adott fizetőeszköz árfolyama. Ezeknek az eseményeknek a megértéséhez és kockázataik becsléséhez a valószínűségi gondolkodás szükséges. A valószínűségi következtetés a múltbeli eseményekre és a jövőbeli események feltételezett (vagy kiszámított) valószínűségére alapozódik. Erre támaszkodik a kockázatelemzés is, és

egy vagy több ellenpélda bekövetkezése nem ássa alá a megállapított valószínűségi összefüggés hitelességét. A valószínűségi gondolkodás fejlődését *Piaget* jobbra egyszerű tudományos kísérletekkel kapcsolatban vizsgálta (*Piaget és Inhelder, 1975; Girotto és Gonzalez, 2008*).

Korrelatív gondolkodás

A korrelatív gondolkodás bizonyos valószínűséggel előálló események közötti összefüggések kezelésére, értelmezésére szolgál. Két tulajdonság vagy változó közötti kapcsolat csak bizonyos számú esetben fordul elő. Ezeknek az előfordulásoknak az arányától függően az asszociáció erőssége különböző lehet. A korrelációs kapcsolatok felismeréséhez az asszociációt erősítő és gyengítő esetek megfigyelése, valamint ezek arányának becslése szükséges (*Kuhn, Phelps és Walters, 1985; Schröder, Bödeker, Edelstein és Teo, 2000*). Mivel a korrelatív gondolkodás ellentmondó információk megfigyelését, összegyűjtését és feldolgozását igényli, tökéletes elsajátítása ritkán fordul elő, és az elkövetett hibák megalapozatlan döntésekhez vezethetnek (*Bán, 1998*). A kutatások szerint a korrelatív gondolkodás lassan fejlődik (*Lawson, 1982; Koerber, Sodian, Thoermer és Nett, 2005*), de rendszeres fejlesztő munkával, különösen a természettudomány tananyag felhasználása révén jelentős eredmények érhetők el (*Lawson, Adi, és Karplus, 1979; Ross és Cousins, 1993*).

Változók elkülönítése és kontrollja

A változók elkülönítése és kontrollja komplex gondolkodási séma vagy stratégia, amelybe különféle, egyszerűbb gondolkodási sémák is beletartoznak. A változók kontrollja hosszú fejlődési folyamat eredményeként alakul ki, és a formális gondolkodási fázisban érhető el. A fejlődés korai szakaszában a gyerekek megtanulják azonosítani és egymástól elkülöníteni egy rendszer kulcselemeit (pl. a golyót és a felfüggesztő zsinórt egy ingában), változókat rendelnek hozzájuk (például súly és hossz), és megkülönböztetik a változók értékeit (pl. rövid, hosszú; könnyű, nehéz). A változók közötti kapcsolat megvizsgálásához, függőségi viszonyaik meghatározásához a változók szisztematikus manipulálása szükséges. Meg kell figyelni ugyanis, hogy adott változó értékének megváltozása hogyan hat a többi változóra. A változók kontrollja alapvetően fontos a tudományos kísérletek megtervezésében, a megfigyelések eredményeinek rendszerezésében és interpretálásában.

Kognitív fejlesztés a természettudományos oktatás keretében

Az előző részben részletesen jellemeztük a természettudomány tanulásában fontos szerepet játszó gondolkodási képességeket, és azt is bemutattuk, hogy a tudományos gondolkodás és az általános gondolkodási képességek szoros kapcsolatban állnak egymással. A továbbiakban arra a kérdésre keressük a választ, hogy milyen mechanizmusokkal lehet stimulálni a tanulók tudományos gondolkodásának fejlődését, és ezáltal segíteni a gondolkodásuk általános fejlődését is.

Mint az előzőekben már tisztáztuk, az általános intelligenciát a képességek olyan rendszerének tekintjük, amelynek alkotóelemei megfelelően stimuláló oktatással jelentősen megváltoztathatók. A korábban bemutatott tanulás-fejlődés spektrumban a gondolkodás a fejlődés végéhez esik közelebb. Más szavakkal inkább fejlődési kérdésekről van szó, ami általánosabb megközelítést igényel, mint az egyszerű tanulás. Nem várhatjuk, hogy a tudományos gondolkodás (például az előző részben leírt gondolkodási képességek) a szokásos oktatási módszerekkel közvetlenül tanítható legyen. Bármilyen kísérlet a szkéma szabálykészletként történő „megtanítására” kudarcra van ítélve. A tanuló memorizálhatja a szabályokat, de nem tudja befogadni, magáévá tenni azokat abban az értelemben, hogy a konkrétan megtanult eseteken túl is alkalmazni tudná, és így a szabályok tágabb felhasználásánál hamar összezavarodik. A tudományos gondolkodás fejlődése, ahogy bármilyen gondolkodás fejlődése is, szükségszerűen lassú, szerves folyamat, amelynek során fokozatosan kialakulnak összefüggő, egymásra épülő képességek. E folyamatban a rendszeres, jól strukturált tevékenységek révén a tanulók maguk építik fel gondolkodásukat.

A fejlesztés általános elveit *A kognitív fejlődés meggyorsítása a természettudományos nevelésen keresztül (Cognitive Acceleration through Science Education – CASE)* szemléletmódját felhasználva mutatjuk be, majd annak felvázolásával zárjuk ezt a részt, hogy hogyan alkalmaznak hasonló elveket a gondolkodás tanítását célzó egyéb sikeres programban. A CASE-t azért választottuk elsődleges példának, mert már több mint 20 éve széles körben alkalmazzák, alapvetően a természettudomány-tanítás kontextusában alakult ki, és az ellenőrzött kísérletek eredményei sokszorosan igazolták hatékonyságát (Adey, Robertson és Venville, 2002; Adey és Shayer, 1993, 1994; Shayer, 1999; Shayer és Adey, 2002).

A CASE pedagógiáját *Jean Piaget* (1896–1980) és *Lev Vigotszkij* (1896–1934) fejlődépszichológiája alapozta meg. Bár a két pszichológus élete során fontos kérdésekben vitázott egymással (például abban, hogy a nyelv elsődleges-e a fejlődést megelőzve, vagy a fejlődés elsősleges a nyelv előtt), sok kérdésben egyetértettek, nevezetesen:

- (1) a környezetnek a kognitív fejlődésre gyakorolt hatásában;
- (2) a társadalmi és a fizikai környezet legalábbis egyenlő mértékű fontosságában;
- (3) annak a fejlődési jelentőségében, hogy a gyermekek saját gondolkodási folyamataik tudatára ébrednek, ahogy önmagukat gondolkodóként tekintik.

Ez a három elv az alapja annak, amit mi a kognitív akceleráció „pillérei-nek” nevezünk.

Elsőként az ösztönző környezet jelentőségét említjük. A természettudományi órákon olyan környezetet kell teremteni, amely kihívást jelent a tanuló számára. A stimuláló környezet olyan feladatokkal szembesíti a tanulókat, amelyek túlmutatnak aktuális képességeiken, és amelynek a leküzdése intellektuális erőfeszítést igényel. *Piaget* elmélete alapján ezt *kognitív konfliktusnak* nevezzük: a tanuló aktuális fejlettségi szintjén, meglévő tudása alapján nem tudja az új tapasztalatokat értelmezni, az új befogadása érdekében előre kell lépnie. *Vigotszkij* szerint pedig a *legközelebbi fejlődési zónában* (*Zone of Proximal Development – ZPD*) végzett tevékenységről van szó. A zóna alsó szintje az, amire a gyerek segítség nélkül is képes, a felső pedig az, amit a tanár vagy egy tehetségesebb társa segítségével elérhet. A tanulás, az optimális tapasztalatszerzés e zónában van. *Vigotszkij* szerint csak az a megfelelő, fejlesztő hatású tanulás, amelyik a fejlődés előtt jár (*Vigotszkij*, 1971). A tanár feladata – és ez nem magától értődő – hogy fenntartsa az éppen megfelelő mértékű feszültséget, a között, amit a tanuló még kezelni tud, és a között, amitől a jelen szakaszban már cselekvőképtelenné válna, bármilyen segítséget is kap. A tanár feladatát tovább nehezíti, hogy az osztályban a tanulók kognitív szintje nagyon változatos. Az egyik tanuló számára kognitív konfliktust jelentő tevékenység triviálisnak tűnhet egy másiknak, és lehetetlenül nehéznek egy harmadik számára. Az egész osztály számára kognitív stimulációt teremtő tevékenységeknek sokféle belépési ponttal kell rendelkezniük, és egyre fokozódó nehézségi szinttel, hogy mindenki el tudja kezdeni, és mindenki számára jelentsen kihívást is.

Másodszor, a tudományos gondolkodást elősegítő tanóráknak sokféle lehetőséget kell biztosítaniuk a *társas konstrukcióra*. Vagyis bátorítani kell a tanulókat, hogy értelmesen beszélgessenek egymással a megismereendő természettudományos jelenségről, különböző ötleteket vessenek fel, azokat megindokolják, másokat gondolkodásra készítsenek, provokáljanak. A stimuláló osztályt a tanár által hangszerelt és levezényelt tevékenységrendszer, a folyamatos magas szintű dialógus jellemzi. Azok a tanulók, akik a megértésben néhány lépéssel előbbre tartanak, különösen hatékonyan segíthetik társaikat, mert hasonlóképpen gondolkodnak, és érzékenyek arra, hogy mi okozhat problémát.

Harmadszor, az olyan osztályokban, amelyek hatékony terepet kínálnak a gondolkodás fejlődéséhez, állandóan jelen vannak a reflexió különböző formái. A tanulók és a tanár visszatekintenek azokra a gondolkodási folyamatokra, amelyek a fejlesztés előterében állnak. Végiggondolják sikereiket és kudarcaikat, tudatosítják az eredményre vezető gondolkodásmód sajátosságait, és megfontolják, hogy a sikerhez vezető gondolatmeneteket miképpen tudnák másutt, új területeken alkalmazni. A metakogníció elősegíti a helyes gondolkodási elvek absztrakcióját, amit azután a későbbiekben másutt is alkalmazni tudnak.

A kognitív akcelerációban ezt a három „pillért” eredetileg 30 tevékenységből álló eszközrendszer testesítette meg, amelyet 11-14 éves gyerekek számára készítettek (Adey, Shayer és Yates, 2001), majd később az elveket fiatalabb gyerekeknél is alkalmazták (Adey, 1998; Adey, Nagy, Robertson, Serret és Wadsworth, 2003; Adey, Robertson és Venville, 2001). Mindegyik esetben a gondolkodás skémája, ahogyan azt az előző részben leírtuk, szolgált a tevékenység témájaként. Például, az *osztályozás* skémájával kezdve, az egyik tevékenység során a körülbelül hétéves korú gyerekek csoportjának magszerű tárgyakat mutattak, többek között almamagot, szotyolát, rizsszemet, kis üvegyöngyöket, lencsét, mazsolát stb. Azt kérték tőlük, hogy alaposan nézzék meg a tárgyakat, és mondják el, melyek magok, és melyek nem. Külön halomba gyűjteni a magokat és az egyéb dolgokat elég egyszerű, de most azt kérték tőlük, hogy magyarázzák is el döntésüket. Ez sok vitához vezetett, amelyet egy tanár körütekintően, a vitát nem eldöntve, irányított. A vita kognitív konfliktust generált, miközben az osztály együtt küzdött azért, hogy a tulajdonságok olyan csoportját állítsák össze, amelynek alapján a magok elkülöníthetők az egyéb tárgyaktól.

A legfiatalabb gyerekek minden héten 30 percet töltenek ilyen tevékenységgel, míg a 7-9 évesek tevékenysége egy órán át tart, és két éven át kéthetente egyszer kerül rá sor. Az értékelések szerint az ilyen intervencióknak hosszú távú hatása van a gyerekek gondolkodásának fejlődésére, amely a többi iskolai tantárgyban elért sikerekben is megjelenik (Adey, és mtsai., 2002; Shayer és Adey, 2002; Shayer és Adhami, 2011; Venville, Adey, Larkin és Robertson, 2003).

A gyermekek gondolkodásának fejlesztésében szignifikáns hatásokat elérő egyéb programok közé tartozik a *Gyermekfilozófia* (*Philosophy for Children*, lásd: Lipman, Sharp, és Oscanyan, 1980; Topping és Trickey, 2007a, 2007b), melynek ugyan nincs közvetlen kapcsolata a természettudomány tanításával, de az alkalmazott osztálytermi módszerek (a tanulók közötti interakció, vita, argumentáció) alkalmazhatóak a természettudomány tanítása során is. A Gyermekfilozófia program keretében megvitathatóak a természettudományhoz kapcsolódó filozófiai kérdések, és fejleszthetők a természettudomány tanulása során fontos gondolkodási képességek is. Hasonló módszerek alkalmazhatók a természettudomány-órákon a tanulók attitűdjeinek, meggyőződéseinek és tudással kapcsolatos elgondolásaiknak (személyes episztemológiák) formálására is. (A Gyermekfilozófia magyar adaptációját illetően lásd G. Havas, Demeter és Falus, 1998.)

Egy másik, a természettudomány-tanítás szempontjából releváns eljárás Klauer induktív gondolkodást fejlesztő programja (Klauer, 1989a, 1996; Klauer és Phye, 1994; Klauer és Phye, 2008). A gondolkodástréning eredetileg külön erre a célra kidolgozott eszközrendszerrel alkalmazott az induktív gondolkodás korai fejlesztésére (Klauer, 1989b), amely különösen a fejlődésben lemaradó tanulók felzárkóztatásában bizonyult eredményesnek. Később e program számos további kísérletet inspirált, mind az iskolai tantárgyakon kívül, mind pedig azokba beágyazott fejlesztő tevékenységekkel. Klauer és Phye (2008) a fejlesztő programok eredményeit szintetizáló tanulmányban 74 olyan kísérletről számol be, amelyek többségét iskolai tantárgyakba integrált fejlesztő programokkal végezték. Ezek között volt a fizika, a biológia és a földrajz is, közvetlenül demonstrálva a természettudományokban rejlő lehetőségeket. Klauer modelljére épült a Molnár (2011) által elvégzett kísérlet is, amelyben az induktív gondolkodást játékos eszközökkel fejlesztették.

Számos további olyan kísérletre is sor került, melyekben valamely gondolkodási képességet a természettudomány által kínált tartalmakkal

fejlesztettek. Többek között sikerült a kombinatív képességet hatékonyan fejleszteni a fizika és a kémia keretében (Csapó, 1992, 2003). Nagy (2006) olyan kísérletről számolt be, melynek során az analógiás gondolkodás fejlesztése a biológiatanításában valósult meg, és nemcsak az analógiás gondolkodás javult, hanem a tananyag megértése és elsajátítása is. A fejlesztő kísérletekben alkalmazott módszereket hatékonyan lehet alkalmazni a rendszeres oktatási gyakorlatban is. Zátanyi (2001) nagyszámú olyan alkalmat azonosít a fizika tanításában, amely felhasználható a gondolkodási képességek fejlesztésére.

Sok olyan általános, a természettudományok tanításában is alkalmazható eljárás van, amely különösen alkalmas a gondolkodási képességek fejlesztésére. Széles körű nemzetközi fejlesztési programok indultak a kutatás alapú természettudomány-tanítás (*Inquiry Based Science Education* – IBSE) elterjesztésére, amely nagyobb hangsúly fektet a megfigyelésekre, kísérletekre és azok eredményeinek önálló feldolgozására, értelmezésére. A probléma alapú tanulás (*Problem Based Learning* – PBL) során a tananyagot realisztikus, a tanulók számára releváns problémákká szervezett formában dolgozzák fel, szemben az egyes diszciplínák logikáját követő, de a tanulók számára esetleg túl absztrakt, steril tananyagszervezéssel. A komplex problémák feldolgozása nemcsak komolyabb kihívást jelent, hanem nagyobb motiváló hatással is bírhat. Az egyéni projektek lehetőséget kínálnak az elmélyültebb önálló tanulásra, míg a csoportprojektek fejlesztik a kommunikáció és a csoportos problémamegoldás készségeit is.

A kognitív fejlődés felmérése a természettudományos oktatás keretében

A gondolkodás fejlődésének vizsgálata más eszközöket és módszereket igényel, mint a tananyag elsajátításának felmérése. Az alapvető problémát az okozza, hogy a feladatokhoz mindig szükséges valamilyen tartalom, és a tartalommal kapcsolatos előismeretek befolyásolják a megoldás sikerességét. Ezzel a helyzettel szembesült Piaget is az értelmi fejlődés tanulmányozása során. Ezért alkalmazta a *klinikai módszert*, amelynek lényege az, hogy csak minimális információt közöl a gyermekekkel, miközben kikérdezi őket. Hasonlóképpen a gondolkodás tesztelése során is minimalizálni kell a konkrét tartalom szerepét.

A tudományos gondolkodás felmérésének tárgya

Ha a tudományos gondolkodás felmérése a célunk, akkor el kell érünk, hogy valóban a gondolkodási folyamatokról kapjunk képet, és ne a természettudományos ismeretek mennyisége vagy fogalomrendszerek fejlettsége befolyásolja az eredményeket. Úgy kell tehát felmérnünk a tanuló tudományos gondolkodási képességeit, hogy a lehető legkisebb mértékben vegyük igénybe a tárgyi tudását. Ha ugyanis tárgyi tudásra is szükség van a feladat megoldásához, és a tanuló elrontja a feladatot, nem lehet megállapítani, hogy a kudarc az ismeretek hiányának vagy fejletlen gondolkodási képességeknek tulajdonítható. Bár valószínűleg lehetetlen elérni, hogy egy gondolkodást felmérő feladatban egyáltalán ne legyen szükség a tudásra (vagy egy ismereteket igénylő feladat ne igényeljen gondolkodást), a lehető legjobban meg kell közelíteni ezeket az ideális határeseteket. A feladat megoldásához szükséges ismereteket biztosítani kell a tanulók számára. Például, ha szeretnénk felmérni, miképpen gondolkodik egy gyerek az alakját változtató folyadék térfogatának megmaradásáról (térfogat-konzerváció), akkor az 1.1. ábrán bemutatotthoz hasonló feladatot adhatunk neki.

Itt van két pohár, A és B. Pont ugyanakkora mind a kettő. Mindkettőben ugyanannyi almale van.



A



B

Te is így gondolsz?

Itt egy másik pohár, C, amelyik magasabb és keskenyebb, mint az A és B pohár. Ez üres.



A

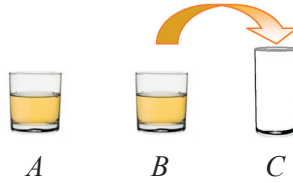


B



C

Most az almalevet a B pohárból átöntjük a magas és keskeny C pohárba.



[Ezt a valóságban is el kell végezni, vagy videón/számítógépen megmutatni]

Nézd meg, mennyi almalé maradt az A pohárban, és mennyi van most a magas C pohárban!

Emlékezz vissza, hogy az elején ugyanannyi almalé volt az A és B pohárban is. Aztán az összes almalevet a B pohárból átöntöttük a C pohárba.

Mit gondolsz, mi a helyzet most?

Több almalé van a C pohárban, mint az A-ban.

Több almalé van az A pohárban, mint a C-ben.

Ugyanannyi almalé van az A és a C pohárban.

Miből gondolod ezt?

Ha megihatnád az A vagy a C pohárban lévő almalevet, melyiket választanád?

Miért? ...

1.1. ábra. A térfogat-megmaradás tesztelése

A későbbiekben majd bemutatjuk, hogyan lehet az ilyen feladatokat alkalmazni. Itt a továbbiakban arra összpontosítunk, hogy milyen típusú gondolkodást szeretnénk vizsgálni. A tudományos gondolkodás felmérésének a kontextusában az általunk javasolt kritérium az, hogy a felmérni kívánt gondolkodás illeszkedjék a *természettudomány-tanulás* keretei közé, és ugyanakkor az *általános gondolkodás* szempontjából is releváns legyen. Továbbá az eszközrendszernek megfelelőnek kell lennie a 6-12 éves gyermekek számára.

Az e kritériumoknak megfelelő gondolkodási képességeket a fejezet korábbi részeiben a konkrét és a formális műveletek skémájaként írtuk le. Egyértelműen ide soroljuk a következő műveleteket:

- (1) A megmaradásokat, ide értve a szám, az anyagmennyiség (tömeg), a súly, a folyadéktérfogat és a kiszorított térfogat megmaradását.
- (2) A sorképzést, ide értve az egy változó alapján végzett sorrendbe állítást, majd az átrendezést egy második változó alapján, és az új tárgyak beillesztését a sorozatba.
- (3) Az osztályozást, ide értve az egyszerű csoportosítást, a két változó alapján végzett csoportosítást, a „kimaradó” csoportokat, az egymást átfedő kategóriákat és a hierarchiákat.
- (4) Az ok és okozat kapcsolatát, ide értve, amikor több mint egy oka van egyetlen okozatnak, és több mint egy okozat következik egyetlen okból. Az oksági kapcsolatnak az egyszerű együtt járástól való megkülönböztetését, de nem mérlegelve a többszörös okokat vagy lehetőségeket; ide értve a változók közötti egyszerű kvalitatív viszonyok megtalálását.
- (5) A kombinatív gondolkodást, a kombinációk megtalálását akár három (esetleg négy) változóval, amelyeknek két vagy háromféle értékük is lehet.
- (6) A valószínűség fogalmának megértését, a kisebb vagy nagyobb valószínűségek közötti különbségtételt.
- (7) Az egyszerű korrelatív gondolkodást, az együtt járások (korrelációk) felismerését az összefüggést erősítő és gyengítő események aránya alapján.
- (8) A térérzékelést, ide értve a perspektívát és a képzeletbeli elforgatást.
- (9) A sebességet a távolság és az idő szempontjából.
- (10) A változók kontrollját háromváltozós helyzetekben, ahol mind-egyik változót közvetlenül meg lehet figyelni.
- (11) Az arányossági gondolkodást, kis egész számok arányainak kezelését.

A felmérésének formája és a számítógépes tesztelés lehetőségei

Ahogy már korábban is jeleztük, a tudományos gondolkodás mérőeszközeinek a lehető legkevésbé szabad természettudományos ismereteket megkövetelni a tanulóktól, ezért a feladat szövegébe a megoldáshoz szükséges minden ismeretet bele kell fogalmazni. A tudományos gondolkodás ezen aspektusainak megfigyeléséhez gyakran szükséges, hogy a tesztfeladatok több egymásra épülő lépésből álljanak, és a tanuló választását lépésről lépésre figyelemmel lehessen kísérni. Ez a megközelítés közel áll a dinamikus értékelés (*Tzurriel*, 1998) elveihez, amelynek során a felmért egyének azt a képességét figyelik meg, hogy hogyan tud tanulni a feladat megoldása során szerzett tapasztalatokból, és nem pedig azt, hogy mit tud már akkor, amikor megkezdte a feladat megoldását. Hasonló a helyzet a dinamikus problémamegoldás esetében is (*Greiff és Funke*, 2010), amikor a tanulók interakcióba lépnek egy számítógépen megjelenített rendszerrel, megfigyelik annak viselkedését, a tanulói beavatkozásokra adott válaszait, általánosítják a megfigyelt szabályokat, majd az így nyert tudást alkalmazva oldják meg az aktuális problémát.

Hosszú ideig az ilyen típusú tesztelést csak egyéni beszélgetéssel lehetett megbízhatóan lefolytatni. (Ezért választotta *Piaget* módszerének a klinikai interjút.) Az egyéni interjú azonban nehezen lenne megvalósítható az osztályteremben, amikor a tanár a gyerekek aktuális gondolkodási képességét szeretné felmérni. A részletes egyéni kikérdezés nem alkalmazható nemzeti vagy nemzetközi összehasonlító felmérések céljaira sem. Az egyénenként, pszichológusok által elvégzett vizsgálatok nagy mintákra, tömeges felmérésekre való kiterjesztése ebben a formában lehetetlen. Ezért a gondolkodás tesztekkel történő felmérése során óhatatlanul kompromisszumokat kell kötni a mérések validitása tekintetében. Másrészt a számítógépes felméréssel sokkal jobban meg lehet közelíteni az ideálisnak tekintett egyéni interjút, mint a hagyományos, papír alapú tesztekkel. Továbbá az, hogy minden tanuló ugyanazt a tesztet oldja meg azonos feltételek között, javítja a mérés objektivitását.

A kognitív fejlődési szintek felmérésére kifejlesztett osztályszintű feladatok egyik sikeres példája a tudományos gondolkodást felmérő feladat-sor (*Science Reasoning Tasks*), melyet *Shayer* és munkatársai dolgoztak ki az 1970-es években (*Shayer*, 1970; *Shayer, Adey*, és *Wylam*, 1981). A feladatok legtöbbször a formális műveletek felmérésére irányult (válto-

zók kontrollja és kizárása, egyensúly, kombinációk), de a következő két-tő közülük kifejezetten a fiatalabb tanulókat vette célba.

- (1) A *térfogat és súly* az egyszerű térfogat-megmaradástól a sűrűség fogalmáig fedi le a piaget-iánus keretben a korai konkrét műveletektől a korai formális műveletekig terjedő fejlődési spektrumot. A felmérést végző személy többféle dolgot mutat be (folyadékokat öntöget, egy tárgyat merít mérőhenger vizébe stb.), és végigvezeti az osztályt az egyes feladatokon, egyiket a másik után bemutatva, bizonyos pontokon szükség szerint magyarázva. A tanulók a többszörös választásokat és rövid írásbeli válaszokat igénylő feladatokat írásban válaszolják meg. Az ilyen feladatokat nagyjából nyolcéves és idősebb tanulóknál lehet alkalmazni.
- (2) A *térérzékelés* mérése egy rajzos feladattal történik. Az egyik feladatsorban a tanulóknak meg kell jósolniuk a víz szintjét egy megdöntött kancsóban (ezt valódi, vízzel megtöltött kancsóval demonstrálják nekik), egy másikban pedig megkérik őket, hogy rajzoljanak egy hegyet egy házzal a hegyoldalban, aztán egy kéményt, majd a kéményből felszálló füstöt, végül egy távolodó fasort. Ez a feladat lefedi a korai, a művelet előtti fázistól az érett, konkrét műveletekig terjedő tartományt, és akár már ötéves gyerekeknél is alkalmazható.

Még ezeknél a tesztfeladatoknál is lehet hibákat elkövetni a lebonyolításban, és a bemutatókhoz néhány különleges eszköz is szükséges. A gondolkodás vizsgálatának legnagyobb jövőbeli ígérete – ide értve a tudományos gondolkodás felmérését is – az, hogy az előzőekben leírtakhoz hasonló számítógépes feladatokat lehet készíteni. A szituációk bemutathatók számítógépen, és a kérdéseket mindig a megfelelő szituáció bemutatása után lehet feltenni. Sőt, a tanulók konkrét válaszaitól függően a tesztelés folyamata is módosítható, alkalmazhatók az adaptív tesztelés alapelvei. Ez a megközelítés akkor válik lehetségessé, ha már az osztály összes tanulója tudja kezelni a számítógépeket. Mivel azonban mind könnyebben és egyszerűbben kezelhető számítógépek állnak rendelkezésre, ez a lehetőség hamarosan szélesebb körben is elérhető lesz. Az osztályozás skémáját például véve az *1.2. ábrán* felvázoljuk, hogy miképp alakul egy ilyen teszt.

(1) A feladat nyitó képernyőjén 4 zöld négyzet, és négy zöld háromszög látható egy csoportban, mindegyik ugyanakkora.



Az olvasható és hallható szöveges utasítás:

„Szét tudod válogatni ezeket a formákat? Húzd szét őket két csoportba, a formák mindkét csoportban ugyanolyanok legyenek!”

(2) Zöld négyzetek, háromszögek és körök csoportja.



„Oszd szét a formákat három csoportba, mindegyikben ugyanolyan formák legyenek.”

(3a) Zöld és piros négyzetek, és zöld és piros háromszögek.



„Készíts két csoportot ezekből a formákból úgy, hogy mindegyik csoportban legalább egy tulajdonságuk ugyanolyan legyen.

Melyik tulajdonságot választod a csoportok összeállításához? Színt / formát / méretet / valami mást?”

(3b) „Keverd újra össze őket, majd újra oszd szét őket két csoportba, ezúttal más tulajdonságuk alapján.

Melyik tulajdonságot választottad most?

Színt / méretet / formát / valami mást?”

(3c) „Most oszd őket négy csoportba.

Mely tulajdonságuk miatt kerültek a formák az egyes csoportokba?”

...

1.2. ábra. Osztályozás feladat

Az egyes részfeladatok egyre nehezebbek lehetnek, növelve a változók számát, a változók lehetséges értékeinek a számát, üres halmazok bevezetésével (pl. piros körök, piros négyzetek, kék körök csoportja), illetve a hierarchikus osztályozás bevezetésével, és a való életből vett példák (pl. háziállatok) beemelésével. A program feljegyzi a tanuló válaszait, minden szinten felméri az osztályozásban mutatott jártasságot, a sikeres feladatok után nehezebb feladatokat kínál, többszöri sikertelenség esetén pedig egyszerűbbeket, és értékeli a globális teljesítményt.

A korábban jellemzett műveletek mindegyikére kifejleszthetők ilyen típusú tesztek. A következő kérdés az, hogy „Lehet-e olyan tesztet kifejleszteni, amelyik több, esetleg az összes szkéma szintjeit vizsgálni tudja?” Lehetne például olyan feladat, amelyben négy kérdés van az osztályozással kapcsolatban, négy a megőrzéssel, több az ok-okozati viszonytal, és így tovább.

Több oka is van annak, hogy az ilyen megközelítés miért okozna problémákat. Először is, mindegyik szkémán belül sok elérhető szint van, amelyeket három-négy kérdéssel nem lehetne megfelelően tesztelni. Másodszor, az ilyen típusú tesztek megoldása során – hasonlóan a dinamikus felmérések feladataihoz – eltart egy ideig, amíg a tanuló „ráhangolódik” a teszt témájára. Ha folyamatosan ugrálni kell az egyik szkémáról a másikra, könnyen előfordulhat, hogy a mérés alábecsüli a gyerek valódi képességeit, mivel újra és újra „rá kell hangolódnia” mindegyik kérdés-típusra. Végül pedig, bár a fejlődési folyamat minden szkéma esetében hasonló fejlődési fázisokon megy keresztül, és azt várnánk, hogy egy gyerek haladása a különböző műveletek terén egymással összhangban történik, a valóságban a különböző műveletek fejlettségi szintje között jelentős eltérés is lehet. Ez a megfigyelés vezetett annak a jelenségnek az azonosításához, amelyet *Piaget decalage*-nak (visszaesés) nevezett – az egyik szkémában való előrehaladás nincs pontosan szinkronban a többivel.

Diagnosztikai célból hasznosabb, ha a tudományos gondolkodás minden aspektusát külön felmérjük, és így határozzuk meg a gyerekek különböző területeken elért fejlettségi szintjét. Ehhez nagyszámú egyedi feladatra van szükség. Ha a felmérés rendszeres, számítógéppel valósul meg, és minden tesztelés előtt rendelkezésre állnak az előző mérések adatai, akkor a feladatokat hozzáigazíthatjuk a tanulók egyéni fejlettségi szintjéhez.

A felmérések eredményeinek interpretációja, a gondolkodás vizsgálatának ereje és kockázatai

A tudományos gondolkodás tesztjei különböző szinteken nyújtanak visszajelző információt. A tanár számára tanulságos és néha meglepő is, ha látja, hogy tanítványai milyen válaszokat adnak a tesztek gondolkodási feladataiban. Az eredményekkel való szembesülés gyakran olyan reakciót vált ki belőlük, mint „Nem hittem volna, hogy ilyen rosszak lesznek” vagy „Pedig csak két hete tanítottam ezt nekik”. Az ilyen tanári megnyilvánulásokat annak tulajdoníthatjuk, hogy a tanárok többnyire nem ismerik a kognitív fejlődés természetét, és a tanítás viszonyát a fejlődéshez. A gondolkodástesztek megmutathatják például, hogy a változók használata vagy az arányossági gondolkodás esetében lassabb a fejlődés, mint azt gondolnánk, és közvetlen tanítási módszerekkel nem is befolyásolható. A tanárok nyilván képesek a tanítványaik értelmi fejlődését elősegíteni, de ezt csak a kognitív fejlődést sokféle kontextusban stimuláló tevékenységek révén érthetik el. A fejlődés lassú, öntörvényű folyamat, és általában a közvetlen tanításon túlmutató módszerekkel lehet eredményesen befolyásolni.

Ha a tanár képes túllépni azon a törekvésen, hogy közvetlenül tanítsa meg a szóban forgó képességeket, akkor hasznosnak fogja találni a gondolkodási tesztek eredményeit. Ez ugyanis lehetővé teszi számára, hogy megtudja, éppen hol tartanak a tanulók, és így (a) hosszabb távra előre képes meghatározni a kognitív stimuláció feladatait, továbbá (b) jobban meg tudja ítélni, hogy várhatóan milyen típusú tevékenységek váltanak ki – mind az osztály, mind pedig az egyes gyerekek számára –fejlesztő hatású kognitív konfliktust.

Néhány nagyobb nemzeti (*Shayer, Küchemann, és Wylam, 1976; Shayer és Wylam, 1978*), és nemzetközi (*Shayer, Demetriou, és Pervez, 1988*) felmérés lehetővé tette a gyermekek átlagos fejlődési ütemének meghatározását. Ezek átfogó képet alkottak arról, hogy a tanulók átlagosan milyen életkorban érik el fejlődés különböző szintjeit. Így lehetővé vált, hogy a tanárok, iskolák vagy az oktatási hatóságok szélesebb körű összehasonlításra alapozva is megítélhessék az egyes tanulók teljesítményét. Sajnos, a legtöbb ilyen normatív adat mára már elavult. Például a korábban bemutatott térfogat feladatban elért teljesítmények jelentősen megváltoztak az 1970-es években végzett első felmérések óta (*Shayer és Ginsburg, 2009*).

E változás ellenére mind az osztályon vagy iskolán belüli, mind pedig a külső viszonyítási adatokkal való összehasonlítások segíthetnek egyenként azonosítani azokat a tanulókat, akiknél a tudományos gondolkodás valamilyen zavara áll fenn, valamint meg lehet találni azokat a kivételes tanulókat is, akik profitálnának az átlagos iskolai tanrendnél magasabb szintű stimulációból.

Az itt bemutatott tesztípus előnye, hogy valami sokkal alapvetőbb dolgot mér fel, mint a tudományos tudás vagy a tananyag egyszerű diszciplináris összefüggéseinek megértése. Amit így fel lehet mérni, az az általános gondolkodási képesség fejlődésének indikátora, olyan képességrendszeré, amelyre minden elmélyültebb gondolkodást igénylő tanulás során szükség van. A tudományos gondolkodás felmérésének minőségét javítva pontosabban meghatározhatjuk, milyen fejlődési szinten vannak a tanulóink. Így jobban megértjük tanulási nehézségeiket, célzott kognitív stimulációval hatékonyabban fejleszthetjük gondolkodásukat. Így tudjuk ellátni őket azokkal az értelmi eszközökkel, amelyek a természet-tudomány hatékony tanulásához szükségesek.

Mindemellett a tudományos gondolkodási teszteknek van néhány olyan jellemzője, amely külön figyelmet igényel, ha el szeretnénk kerülni, hogy a legfontosabb cél meghiúsuljon. Fennáll annak kockázata, hogy esetleg úgy interpretálják a gondolkodási teszt eredményeit, mint a gyerek egy többé-kevésbé rögzült tulajdonságát. Világossá kell tenni, hogy változtatható, fejleszthető képességekről van szó, és a tesztelés célja éppen az, hogy megmutassa a fejlesztés szükségességét, és nyomon kövesse a beavatkozások hatását. Ugyanakkor fel kell hívni a figyelmet arra is, hogy a direkt tanítástól önmagában kevés eredmény várható. A fejlődés szempontjából releváns stimulációval, tudatos neveléssel hosszabb időn át lehet biztos eredményt elérni. A tudományos gondolkodás tesztekét ugyanúgy fel lehet használni a formatív tesztelés céljaira, mint a természettudományos tudást mérő tesztekét.

A gondolkodás számítógépes felmérésének van számos olyan aspektusa, amely a tervezésen, kipróbáláson, az adatok statisztikai feldolgozásán, az újratervezésen és a számítógépes programozáson keresztül zajló tesztfejlesztés minőségén múlik. Ahogy azt már korábban jeleztük, az egyénileg, számítógépek felhasználásával végzett tesztelést tartjuk a legjobbnak. Ez alapjában véve technikai kérdés. Nagyon fontos az is, hogy a számítógépes feladatok realisztikusak, valóságghűek legyenek, abban az

értelemben, hogy a számítógépen bemutatott szituációkkal jogosan helyettesítők legyenek a valóságosak. A tanulónak érezniük kell a képernyőn bemutatott tárgyakról és folyamatokról, hogy valóságok, egyébként nem képesek őket a valóság elemeivel kapcsolatba hozni.

Végül figyelmet kell fordítanunk a biztonság kérdésére is, különösen az olyan tesztek esetében, amelyeknek komoly tétje van. A diagnosztikai tesztek ugyan nem tartoznak ez utóbbiak közé, de ha a kifejlesztett tesztek szabadon hozzáférhetőek, és a teszt diagnosztikai célját rosszul értelmezik, előfordulhat a tesztelésre való felkészítés. Ha az iskola vagy a tanár azt gondolhatja, hogy hasznot húzhat abból, ha a tanulói jól teljesítettek a teszteken, viszonylag könnyen felkészítheti a tanulókat a „helyes” válaszokra. Ez a felkészítés rövidre zárja a fejlődésben bekövetkező valódi növekedést, és a mesterségesen felfújtt értékek nem tükrözik, hogy a tanulók valóban rendelkeznek-e a gondolkodási műveletekkel. Az ilyen téves felhasználást a tanárok és az iskolai vezetők felkészítésével, szakszerű továbbképzésével lehet kivédeni. Ezért nem szabad megengedni a formatív tesztelés esetében az egyéni vagy a csoportos eredmények nyilvánosságra hozatalát. Tovább csökkentheti „a tesztre való rátanítás” iránti kísértést, ha nem egyszeri vizsgálatról van szó, hanem a felmérések sorozatot alkotnak. Ha sor kerül az adatok összekapcsolására, a tanulók longitudinális követésére, az eredmények egyszeri, mesterséges feljavítása lerontaná annak esélyét, hogy a következő időszakokban is javulás következzen be. Egy komplex fejlődési adatbázis egyedi eredményeinek manipulálását statisztikai elemzésekkel is könnyebb felderíteni.

Felmerül az a kérdés is, milyen formában közölhetők a teszteredmények magukkal a diákokkal. A formatív tesztelés céljaival összhangban a visszacsatolásnak nem csupán a kvantitatív eredményeket, hanem segítő jellegű információkat is kell tartalmaznia (*Black, Harrison, Lee, Marshall és Wiliam, 2003*). Nincs értelme a tanulóval egyszerűen csak a gondolkodási feladatokban elért pontszámát közölni, mivel abból még nem fogja megtudni, hogy milyen típusú gondolkodásban sikeres, és melyekben kellene még fejlődnie. A hatékony formatív visszajelzés mindenekelőtt azt közli a tanulóval, milyen tevékenységekkel javíthatja eredményét, a számszerű adatok pedig annak jelzésére alkalmasak, hogy a tanulók lássák, milyen hatása volt ezeknek a tevékenységeknek. Osztályszinten értékelve a csoport eredményeit, jó nevelési alkalmat teremthetünk, amivel a tanulók lehetőséget kapnak arra, hogy elmondják, ők hogyan oldották meg

az egyes feladatokat, igazolják a válaszaik helyességét, és a többiekkel együtt vegyenek részt a fejlesztő hatású vitában, közös gondolkodásban.

Összegzés

Ebben a fejezetben egyértelműen különbséget tettünk a tudományos ismeret és a tudományos gondolkodás között. Ezt a különbségtételt részben a tanulás-fejlődés spektrumban elfoglalt helyzetük magyarázza: a tudományos ismeret inkább a tanulás, míg a gondolkodás inkább a fejlődés eredménye. Ennek következményeként meg kell különböztetnünk a direkt tanítást és a fejlesztést is. A tudományos gondolkodást, miként a gondolkodást általában is, csak megfelelően alkalmazott rendszeres stimulációval lehet javítani.

Bemutattunk néhány módot arra, hogyan lehet osztályozni a tudományos gondolkodás különböző formáit, és kiemelt figyelmet fordítottunk azokra a gondolkodási mintákra vagy skémákra, amelyek megalapozzák a természettudományok tanulását, a jelenségek megértését és az ismeretek alkalmazását. A tudományos gondolkodást az általános gondolkodás vagy az általános intelligencia egyik aspektusaként mutattuk be. Mind az általános, mind a tudományos gondolkodást nyitott, a megfelelő tanulási tapasztalatokon keresztül fejleszthető képességek rendszereként írtuk le.

Bemutattuk, hogy az értelmi képességeket stimuláló tanulási tapasztalatok egyik legfontosabb mozzanata a kognitív konfliktus, amely kihívást jelent az aktuális tudás hiányosságait illetően, és motivál a magasabb szintű megértés felé való továbblépésre. Felhívtuk a figyelmet a társas interakció jelentőségére, amelynek során a tanulók vitatkozva, együtt gondolkodva ösztönzik egymást. Kiemeltük a metakogníció meghatározó szerepét a tanulók tudatos gondolkodóvá válásában, melynek során képessé lesznek saját gondolkodási folyamataikat figyelemmel kísérni és irányítani. Mindezek során folyamatosan demonstráltuk a természettudomány tanításában rejlő egyedi lehetőségeket ezeknek a meghatározó jelentőségű értelmi folyamatoknak a fejlesztésében.

Végül a természettudományok terén megnyilvánuló gondolkodási képességek felmérését szolgáló módszereket mutattunk be. Felvázoltuk azokat a kritériumokat is, amelyek alapján el lehet kezdeni a megfelelő fel-

adatbankok kifejlesztését. Áttekintettük az ilyen tesztek felhasználását, és a nem megfelelő alkalmazásukban rejlő veszélyeket is.

A természettudományos gondolkodás formatív és diagnosztikus felmérésére kísérleti oktatási programokban már évtizedekkel ezelőtt sor került. Az ilyen mérésekre alapozott módszerek azonban a gyakorlatban komoly személyes és eszközbeli igényeik miatt nem terjedhettek el szélesebb körben. A technológia alapú értékelés lehetővé teszi, hogy a személyre szabott felméréseket bevigyük az osztálytermekbe. Ezáltal további lépés tehető annak érdekében, hogy a természettudomány tanítását hozzáigazítsuk a tanulók aktuális fejlettségéhez és egyéni igényeihez.

Irodalom

- Adey, P. (1998): Thinking Science: Science as a gateway to general thinking ability. In: Hamers, J. M., Van Luit, J. E. és Csapó, B. (szerk.): *Teaching and learning thinking skills*. Swets and Zeitlinger, Lisse. 63–80.
- Adey, P., Csapó, B., Demteriou, A., Hautamäki, J. és Shayer, M. (2007): Can we be intelligent about intelligence? Why education needs the concept of plastic general ability. *Educational Research Review*, 2. 2. sz. 75–97.
- Adey, P., Nagy, F., Robertson, A., Serret, N. és Wadsworth, P. (2003): Let's Think Through Science! NFER-Nelson, London.
- Adey, P., Robertson, A. és Venville, G. (2001): Let's Think! NFER-Nelson, Slough.
- Adey, P., Robertson, A. és Venville, G. (2002): Effects of a cognitive stimulation programme on Year 1 pupils. *British Journal of Educational Psychology*, 72. 1–25.
- Adey, P. és Shayer, M. (1993): An exploration of long-term far-transfer effects following an extended intervention programme in the high school science curriculum. *Cognition and Instruction*, 11. 1. sz. 1–29.
- Adey, P. és Shayer, M. (1994): *Really raising standards: Cognitive intervention and academic achievement*. Routledge, London.
- Adey, P., Shayer, M. és Yates, C. (2001): *Thinking Science: The curriculum materials of the CASE project* (3. kiad.). Nelson Thornes, London.
- Bán Sándor (1998): Gondolkodás a bizonytalanról: valószínűségi és korrelatív gondolkodás. In: Csapó Benő (szerk.): *Az iskolai tudás*. Osiris Kiadó, Budapest. 221–250.
- Bao, L., Cai, T., Koenig, K., Han, J., Wang, J., Liu, Q., Ding, L., Cui, L., Luo, Y., Wang Y., Li, L. és Wu, N. (2009): *Learning and scientific reasoning*. *Science*, 323(5914), 586–587.
- Black, P. J., Harrison, C., Lee, C., Marshall, B. és Wiliam, D. (2003): *Assessment for learning: putting it into practice*. Open University Press, Buckingham.
- Boyer, T. W., Levine, S. C. és Huttenlocher, J. (2008): Development of proportional reasoning: Where young children go wrong. *Developmental Psychology*, 44. 5. sz. 1478–1490.
- Calvert, B. (1986): *Non-verbal test*. NFER-Wilson, Windsor.

- Csapó Benő (1988): *A kombinatív képesség struktúrája és fejlődése*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Csapó, B. (1992): Improving operational abilities in children. In: Demetriou, A., Shayer, M. és Efklides, A. (szerk.): *Neo-Piagetian theories of cognitive development. Implications and applications for education*. Routledge and Kegan Paul, London. 144–159.
- Csapó, B. (1997): Development of inductive reasoning: Cross-sectional measurements in an educational context. *International Journal of Behavioral Development*, **20**. 4. sz. 609–626.
- Csapó Benő (2001a): Az induktív gondolkodás fejlődésének elemzése országos reprezentatív minták alapján. *Magyar Pedagógia*, **101**. 3. sz. 373–391.
- Csapó Benő (2001b): A kombinatív képesség fejlődésének elemzése országos reprezentatív felmérés alapján. *Magyar Pedagógia*. **101**. 4. sz. 511–530.
- Csapó Benő (2003): *A képességek fejlődése és iskolai fejlesztése*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Csapó, B. és Nikolov, M. (2009): The cognitive contribution to the development of proficiency in a foreign language. *Learning and Individual Differences*, **19**. 2. sz. 209–218.
- Csikos Csaba (2007): *Metakogníció – A tudásra vonatkozó tudás pedagógiája*. Műszaki Kiadó, Budapest.
- Davies, J. és Graff, M. (2006): Wholist–analytic cognitive style: A matter of reflection. *Personality and Individual Differences*, **41**. 6. sz. 989–997.
- Demetriou, A. (2004): Mind, intelligence, and development: A general cognitive, differential, and developmental theory of the mind. In: Demetriou, A. és Raftopoulos, A. (szerk.): *Developmental change: Theories, models and measurement*. Cambridge University Press, Cambridge. 21–73.
- Ennis, R. H. (1995): *Critical thinking*. Prentice Hall, New York.
- G. Havas Katalin, Demeter Katalin és Falus Katalin (1998, szerk.): *Gyermekfilozófia Szöveggyűjtemény I*. Korona Nova Kiadó, Budapest.
- Giroto, V. és Gonzalez, M. (2008): Children’s understanding of posterior probability. *Cognition*, **106**. 1. sz. 325–344.
- Glenda, A. (1996): Assessment of relational reasoning in children aged 4 to 8 years. Paper presented at the Biennial Meeting of the International Society for the Study of Behavioral Development. Quebec, Canada, August 12–16, 1996.
- Glynn, S. M., Yeany, R. H. és Britton, B. K. (1991, szerk.): *The psychology of learning science*. Erlbaum, Hillsdale.
- Greiff, S. és Funke, J. (2010): Systematische Erforschung komplexer Problemlösefähigkeit anhand minimal komplexer Systeme. In: Klieme, E., Leutner, D., Kenk, M. (szerk.): *Kompetenzmodellierung. Zwischenbilanz des DFG-Schwerpunktprogramms und Perspektiven des Forschungsansatzes*. 56. Beiheft der Zeitschrift für Pädagogik, Weinheim, ua.: Beltz, 216–227.
- Hamers, J. H. M., de Koning, E. és Sijtsma, K. (1998): Inductive reasoning in third grade: Intervention promises and constraints. *Contemporary Educational Psychology*, **23**. 2. sz. 132–148.
- Howson, C. és Urbach, P. (1996): *Scientific reasoning. The Bayesian approach*. (2. kiad.) Open Court Publishing Company, Chicago.

- Inhelder, B. és Piaget, J. (1958): *The growth of logical thinking*. Routledge and Kegan Paul, London. [Magyarul: *A gyermek logikájától az ifjú logikáig*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1967.]
- Jitendra, A. K., Star, J. R., Starosta, K., Leh, J. M., Sood, S., Caskie, G., Hughes, C. L., és Mack, T. R. (2009): Improving seventh grade students' learning of ratio and proportion: The role of schema-based instruction. *Contemporary Educational Psychology*, **34**. 3. sz. 250–264.
- Johnson-Laird, P. N. (2006): *How we reason*. Oxford University Press, Oxford.
- Kishta, M. A. (1979): Proportional and combinatorial reasoning in two cultures. *Journal of Research in Science Teaching*, **16**. 5. sz. 439–443.
- Klauer, K. J. (1989a): Teaching for analogical transfer as a means of improving problem solving, thinking, and learning. *Instructional Science*, **18**. 179–192.
- Klauer, K. J. (1989b). *Denktraining für Kinder I*. Hogrefe, Göttingen.
- Klauer, K. J. (1996): Teaching inductive reasoning. Some theory and three experimental studies. *Learning and Instruction*, **6**. 1. sz. 37–57.
- Klauer, K. J. és Phye, G. (1994): *Cognitive training for children. A developmental program of inductive reasoning and problem solving*. Hogrefe and Huber, Seattle.
- Klauer, K. J. és Phye, G. D. (2008): Inductive Reasoning: A training approach. *Review of Educational Research*, **78**. 1. sz. 85–123.
- Koerber, S., Sodian, B., Thoermer, C. és Nett, U. (2005): Scientific reasoning in young children: Preschoolers' ability to evaluate covariation evidence. *Swiss Journal of Psychology*, **64**. 3. sz. 141–152.
- Kuhn, D. (1992): Thinking as argument. *Harvard Educational Review*, **62**. 2. sz. 155–178.
- Kuhn, D., Phelps, E. és Walters, J. (1985): Correlational reasoning in an everyday context. *Journal of Applied Developmental Psychology*, **6**. 1. sz. 85–97.
- Lipman, M., Sharp, M. és Oscanyan, F. (1980): *Philosophy in the classroom*. (2. kiad.). Temple University Press, Philadelphia.
- Lawson, A., E. (1982): The relative responsiveness of concrete operational seventh grade and college students to science instruction. *Journal of Science Teaching*, **19**. 1. sz. 63–77.
- Lawson, A. E., Adi, H. és Karplus, R. (1979): Development of correlational reasoning in secondary schools: Do biology courses make a difference? *American Biology Teacher*, **41**. 7. sz. 420–425
- McGuinness, C. (2005): Teaching thinking: Theory and practice. *British Journal of Educational Psychology Monograph*, **2**. 3. sz. 107–126.
- Molnár Éva (2002): Önszabályozó tanulás: nemzetközi kutatási irányzatok és tendenciák. *Magyar Pedagógia*, **102**. 1. sz. 63–79.
- Molnár, Gy. (2011): Playful fostering of 6- to 8-year-old students' inductive reasoning. *Thinking Skills and Creativity*. **6**. 2. sz. 91–99.
- Nagy József (1987): *A rendszerezési képesség kialakulása*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Nagy József (2004): A elemi kombinatív képesség kialakulásának kritériumorientált diagnosztikus feltárása. *Iskolakultúra*, **14**. 8. sz. 3–20.
- Nagy Lászlóné (2006): *Az analógiás gondolkodás fejlesztése*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- Norris, S. P. és Ennis, R. H. (1989): *Evaluating critical thinking*. Midwest Publications Critical Thinking Press, Pacific Grove, CA.

- Osborne, J. (2010): Arguing to learn in science: The role of collaborative, critical discourse. *Science*, **328**. 463–466.
- OECD (2003): *The OECD 2003 Assessment Framework. Mathematics, Reading, Science and Problem Solving*. OECD, Paris.
- Piaget, J. és Inhelder, B. (1974): *The child's construction of quantities*. Routledge and Kegan Paul, London.
- Piaget, J. és Inhelder, B. (1975): *The origin of the idea of chance in children*. Routledge and Kegan Paul, London.
- Piaget, J. és Inhelder, B. (1976): *The child's conception of space*. Routledge and Kegan Paul, London.
- Popper, K. R. (1972): *Objective knowledge. An evolutionary approach*. Clarendon, Oxford.
- Pólya György (1988): *Indukció és analógia – A plauzibilis következtetés*. Gondolat Kiadó, Budapest.
- Raven, J. C. (1960): *Guide to the Standard Progressive Matrices set A, B, C, D, E*. H. K. Lewis, London.
- Ross, J. A. és J. Cousins, B. (1993): Enhancing secondary school students' acquisition of correlational reasoning skills. *Research in Science & Technological Education*, **11**. 2. sz. 191–205.
- Sanz de Acedo Lizarraga, M. L., Sanz de Acedo Baquedano, M. T. és Oliver, M. S. (2010): Psychological intervention in thinking skills with primary education students. *School Psychology International*. **31**. 2. 131–145.
- Schröder, E., Bödeker, K., Edelstein, W. és Teo, T. (2000): *Proportional, combinatorial, and correlational reasoning. A manual including measurement procedures and descriptive analyses. Study „Individual Development and Social Structure”*. Data Handbooks Part 4. Max Planck Institute for Human Development, Berlin.
- Shayer, M. (1970): How to assess science courses. *Education in Chemistry*, **7**. 182–186.
- Shayer, M. (1999): Cognitive Acceleration through Science Education II: Its effect and scope. *International Journal of Science Education*, **21**. 8. sz. 883–902.
- Shayer, M. és Adey, P. (2002. szerk.): *Learning intelligence: Cognitive acceleration across the curriculum from 5 to 15 years*. Open University Press, Milton Keynes.
- Shayer, M., Adey, P. és Wylam, H. (1981): Group tests of cognitive development – Ideals and a realization. *Journal of Research in Science Teaching*, **18**. 2. sz. 157–168.
- Shayer, M. és Adhami, M. (2011): *Realizing the cognitive potential of children 5 to 7 with a mathematics focus: Post-test and long-term effects of a two-year intervention*. *British Journal of Educational Psychology*, in press.
- Shayer, M., Demetriou, A. és Pervez, M. (1988): The structure and scaling of concrete operational thought: Three studies in four countries. *Genetic, Social and General Psychological Monographs*, **114**. 309–375.
- Shayer, M. és Ginsbrg, D. (2009): Thirty years on – a large anti-Flynn effect? (II): 13- and 14-year olds. Piagetian tests of formal operations norms 1976–2006/7. *British Journal of Educational Psychology*, **79**. 3. sz. 409–418.
- Shayer, M., Küchemann, D. és Wylam, H. (1976): The distribution of Piagetian stages of thinking in British middle and secondary school children. *British Journal of Educational Psychology*, **46**. 2. sz. 164–173.

- Shayer, M. és Wylam, H. (1978): The distribution of Piagetian stages of thinking in British middle and secondary school children. II. 14- to 16-year-olds and sex differentials. *British Journal of Educational Psychology*, **48**, 1. sz. 62–70.
- Topping, K. J. és Trickey, S. (2007a): Collaborative philosophical enquiry for school children: Cognitive effects at 10-12 years. *British Journal of Educational Psychology*, **77**, 2. sz. 271–278.
- Topping, K. J. és Trickey, S. (2007b): Collaborative philosophical enquiry for school children: Cognitive gains at 2-year follow-up. *British Journal of Educational Psychology*, **77**, 4. sz. 787–796.
- Tryphon, A. és Vonèche, J. (1996): *Piaget-Vygotsky. The Social Genesis of Thought*. Psychology Press (Erlbaum), Hove.
- Tzuriel, D. (1998): Dynamic assessment of preschool children: characteristics and measures. In: J. M. Martínez, J. Lebeer és R. Garbo (szerk.): *Is intelligence modifiable?* Bruño, Madrid. 95–114.
- Venville, G., Adey, P., Larkin, S. és Robertson, A. (2003): Fostering thinking through science in the early years of schooling. *International Journal of Science Education*, **25**, 11. sz. 1313–1332.
- Vidákovich Tibor (1998): Tudományos és hétköznapi logika: a tanulók deduktív gondolkodása. In: Csapó Benő (szerk.): *Az iskolai tudás*. Osiris Kiadó, Budapest. 191–220.
- Vigotszkij, L. Sz. (1971): *A magasabb pszichikus funkciók fejlődése*. Gondolat Kiadó, Budapest.
- Zátonyi, S. (2001): *Képességfejlesztő fizikatanítás*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.