

УДК 616.831-005+612.13:[612.396+613.24]
DOI: 10.36979/1694-500X-2025-25-9-201-206

ВЛИЯНИЕ УГЛЕВОДНОЙ ДИЕТЫ НА БИОХИМИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ АРТЕРИАЛЬНОЙ КРОВИ И КРОВΟΣНАБЖЕНИЕ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Алымжан уулу Болотбек

Аннотация. Исследуется изолированная углеводная диета на биохимический профиль артериальной крови и кровоснабжение головного мозга. Головной мозг использует энергию для передачи импульсов, а в качестве (в норме) источника энергии – глюкозу. Однако такое постулирование больше приемлемо по отношению к нейронам, а не ко всем клеточным популяциям, включающим клетки нейроглии, эпендимоциты, кровеносные сосуды и другие структуры головного мозга. Сахар считают виновником ожирения, сахарного диабета 2-го типа и связанных с ними патологических состояний. Он по-разному влияет на структуру и функцию отдельных органов и систем, где намного опережает другие нутриенты. Заменить его другими углеводами нельзя, поскольку сахар считается важнейшим компонентом питания людей.

Ключевые слова: головной мозг; кровоснабжение головного мозга; сахар; углеводная диета.

УГЛЕВОДТУК ДИЕТАНЫН АРТЕРИЯЛЫК КАНДЫН БИОХИМИЯЛЫК ПРОФИЛИНЕ ЖАНА МЭЭГЕ КАН ЖЕТКИРҮҮГӨ ТААСИРИ

Алымжан уулу Болотбек

Аннотация. Бул макала артериялык кандын биохимиялык профили жана мээнин кан менен камсыздоосуна арналган обочолонгон углеводдук диетаны изилдөөгө арналган. Мээ импульстарды өткөрүү үчүн энергияны колдонот жана (адапта) энергия булагы катары глюкозаны колдонот. Бирок, мындай постуляция нейроглия клеткаларын, эпендимоциттерди, кан тамырларды жана башка мээ структураларын камтыган бардык клетка популяцияларына караганда нейрондорго көбүрөөк ылайыктуу. Кант семирүү, 2-типтеги диабет жана ага байланыштуу патологиялык шарттардын күнөөкөрү болуп эсептелет. Ал айрым органдардын жана системалардын структурасына жана функциясына ар кандай таасир этет, мында башка азыктардан алда канча алдыда. Аны башка углеводдор менен алмаштыруу мүмкүн эмес, анткени кант адамдардын тамактануусунун маанилүү компоненти болуп эсептелет.

Түйүндүү сөздөр: мээ; мээге кан жеткирүү; кант; углевод диетасы.

THE EFFECT OF A CARBOHYDRATE DIET ON THE BIOCHEMICAL PROFILE OF ARTERIAL BLOOD AND BLOOD SUPPLY TO THE BRAIN

Alymzhan uulu Bolotbek

Abstract. This article is devoted to the study of an isolated carbohydrate diet on the biochemical profile of arterial blood and blood supply to the brain. The brain uses energy to transmit impulses, and glucose as a (normal) energy source. However, this postulation is more acceptable in relation to neurons, rather than all cell populations, including neuroglial cells, ependymocytes, blood vessels, and other brain structures. Sugar is ahead of other nutrients in terms of its effect on the structure and function of individual organs and systems. According to some ideas, sugar is the most important component of food, according to others, carbohydrates are not essential components of human food. Moreover, sugar is characterized as a "white killer" as the culprit of obesity, type 2 diabetes and related pathological conditions.

Keywords: brain; blood supply to the brain; sugar; carbohydrate diet.

Введение. Сахар по разновидности его влияния на структуру и функцию отдельных органов и систем опережает другие нутриенты. Согласно одним представлениям, сахар – важнейший компонент продуктов питания, по другим – углеводы не являются незаменимыми компонентами пищи человека [1]. Мало того, сахар характеризуется как “белый убийца”, как виновник ожирения, сахарного диабета 2-го типа и связанных с ними патологических состояний [2, 3].

Это – с одной стороны, с другой – с тех пор как налажен способ получения сахара, его потребление населением увеличилось в 25 раз, а продолжительность жизни людей почти в 2 раза. Кроме того, известно, что продукты питания богаты также белками и жирами (мясо, сыры, масло, колбасы и т. д.), поэтому большинство людей на планете Земля (70–80 %) покупают и едят продукты богатые углеводами, меньшинство (20–30 %) – богатые белками и жирами. Страдают же лишним весом, ожирением, сахарным диабетом 2-го типа, связанными с ними сердечно-сосудистыми заболеваниями, те, кто сравнительно больше употребляет пищу, богатую белками и жирами [4, 5].

Например, в странах Африки и Азии население употребляет большое количество овощей и фруктов, богатых углеводами (до 60–90 %), но страдают лишним весом, ожирением, сахарным диабетом 2-го типа меньше, чем население Америки и Европы, которое больше употребляет продукты богатые белками и жирами [6, 7].

Изложенное свидетельствует, что алиментарно-зависимые заболевания составляют актуальную глобальную проблему, их сущность до конца не ясна.

Особую актуальность в последние годы приобрела проблема, “влияния диеты как ключевого фактора экспоза на работу головного мозга”. Как известно, организм снабжается энергией, получаемой при окислении белков, жиров и углеводов. При этом основным источником энергии являются углеводы, так как они составляют большую часть пищи человека, а белки и жиры – меньшую [8].

Кроме того, белки и жиры служат источником различных строительных белков, тогда как роль углеводов в этом относительно мала.

Головной мозг использует энергию для передачи импульсов, а в качестве (в норме) источника энергии – глюкозу. Однако такое поступление больше приемлемо по отношению к нейронам, а не ко всем клеточным популяциям, включающим клетки нейроглии, эндотелиоциты, кровеносные сосуды и другие структуры головного мозга [9].

Целью настоящего исследования явилось установление механизма действия углеводной диеты на биохимический профиль артериальной крови и кровоснабжение головного мозга в условиях эксперимента.

Материалы и методы исследования

Объект: опытные (n = 20) и контрольные (n = 10) белые беспородные крысы-самцы весом 200–250 г.

Место и условия: работа выполнена в лаборатории экспериментального моделирования патологических процессов Кыргызско-Российского Славянского университета (КРСУ) с соблюдением правил лабораторной практики утвержденными Министерством здравоохранения и социального развития РФ N 7084 от 23 августа 2010 года “Об утверждении правил лабораторной практики” в рамках проекта “Алиментарные и дистрофические синдромы и их обратимость” утвержденного МОиН КР. Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом при КГМА им. И.К. Ахунбаева (от 27 мая 2023 года).

Материал: артериальная кровь, взятая из общих сонных артерий, и кровеносные сосуды головного мозга.

Методы: опытных крыс в течение 30 дней кормили рафинированным сахаром, контрольных – стандартным кормом. По истечении этого срока проводился забор крови под общим наркозом и образцов головного мозга посмертно. Калориметрическим методом с использованием тест-системы Vital (Россия) в крови определены уровни холестерина, глюкозы, общего белка и альбуминов. Образцы головного мозга после фиксации в 10%-м нейтральном растворе формалина обезвожены в спиртах возрастающей концентрации и залиты в парафин. Из парафиновых блоков изготовлены срезы толщиной 5–7 мкм, окрашены гематоксилином и эозином.

Готовые гистологические препараты изучены под световым микроскопом Olympus Vx40 (Япония) с одновременным фотографированием цифровым фотоаппаратом Levenhuk C130 (Китай). Полученные результаты обработаны в программе SPSS22.0, достоверность различных определялось по критериям Стьюдента, при $P < 0,05$.

Результаты и обсуждение. Крысы опытной группы, содержащиеся на углеводном рационе, отстают в росте от контрольных животных, содержащихся на стандартном корме. У опытных крыс очень слабо выражено отложение жира в брюшной полости под кожей. У отдельных особей опытной группы отмечается взъерошенная шерсть, облысение хвоста и кожи живота, желудок, толстый и тонкий кишечник стали прозрачными, пустыми. Печень, напротив, увеличена и более плотная, чем у контрольных крыс.

Как и следовало ожидать, уровень глюкозы в артериальной крови превышает контрольные значения в 1,66 раза. Одновременно отмечается увеличение уровня общего холестерина в 1,67 раза, что может быть связано с образованием холестерина из Ацетил-КоА, идущего на синтез жирных кислот и холестерина. Вполне возможно, что жирные кислоты, синтезированные из Ацетил-КоА, в дальнейшем окисляются в печени в цикле лимонной кислоты с накоплением энергии в виде АТФ (таблица 1).

Особый интерес представляет то, что уровень общего белка и альбуминов в артериальной крови остается на относительно стабильном уровне, несмотря на отсутствие белков в рационе. Однозначно интерпретировать данный факт трудно. С определенной осторожностью можно допустить мобилизацию белков скелетной мускулатуры с последующим превращением их в печени. Этим, в частности, можно объяснить отставание в росте опытных крыс по сравнению с контрольными, о чем сказано выше.

Измененная по своему биохимическому профилю кровь вызывает приспособительные, компенсаторные и даже патологические преобразования кровеносных сосудов головного мозга, по которым она циркулирует. Эти преобразования затрагивают просвет, сосудистую стенку и паравазальную строму. Нередко, встречаются кровеносные сосуды, просвет которых

Таблица 1 – Влияние изолированной углеводной диеты на биохимический профиль крови

Показатели	Экспериментальная группа, n = 10	Контрольная группа, n = 10	P
Холестерин	$4,14 \pm 0,09$	$1,27 \pm 0,06$	$< 0,001$
Глюкоза	$2,73 \pm 0,08$	$1,84 \pm 0,03$	$< 0,001$
Гемоглобин	$12,00 \pm 1,05$	$14,40 \pm 1,4$	$< 0,001$
Общий белок	$52,31 \pm 7,47$	$67,28 \pm 5,34$	$< 0,001$
Альбумины	$19,3 \pm 5,30$	$27,40 \pm 2,3$	$< 0,001$

покрыт структурой, напоминающей гиалиновую мембрану (рисунок 1).

В центре просвета сосуда они истончены, часто имеют щели и разрывы, на периферии – плотно прилегают к эндотелиальной выстилке сосудистой стенки, затронутой плазморагией. В других сосудах просвет заполняет свернувшаяся плазма, которая нитевидными ответвлениями соединена с сосудистой стенкой с нарушенным эндотелием (рисунок 2).

В-третьих (больше в венах), в просвете отмечается стаз сепарированной крови, а также тромбообразование. Изложенные изменения чаще встречаются в сосудистой оболочке мозга, покрывающей теменные доли, реже – височные и отсутствуют на основании мозга (рисунок 3).

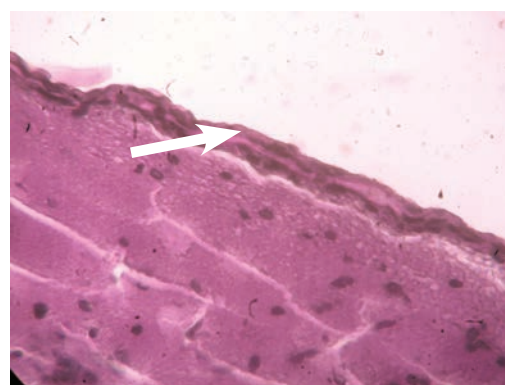


Рисунок (микрофото) 1 – Продольный срез вены мягкой мозговой оболочки, просвет которой напоминает гиалиновую мембрану. Заливка в парафин. $\times 400$

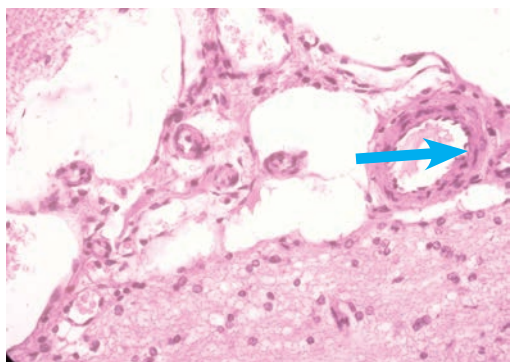


Рисунок (микрофото) 2 – Свернувшаяся плазма крови с нитевидными отростками прикрепляется к сосудистой стенке с нарушенным эндотелием.
Заливка в парафин. $\times 400$

Ремоделирование стенки характеризуется разнообразием в зависимости от типа кровеносного сосуда. В артериях мягкой мозговой оболочки мышечно-эластического типа наблюдается усиление эластического каркаса в мидии, среди которой гладкомышечные клетки расположены как обычно, циркулярно, так и косо по отношению к оси сосуда. Там, где меняются форма и расположение гладкомышечных клеток, они часто колум вдавнются в просвет артерии. Эластические и коллагеновые волокна адвентиции выглядят отечными. В вене, сопровождающей артерию, отмечается воспалительная реакция сосудистой стенки с паравазальным скоплением микроглиальных макрофагов (рисунок 4).

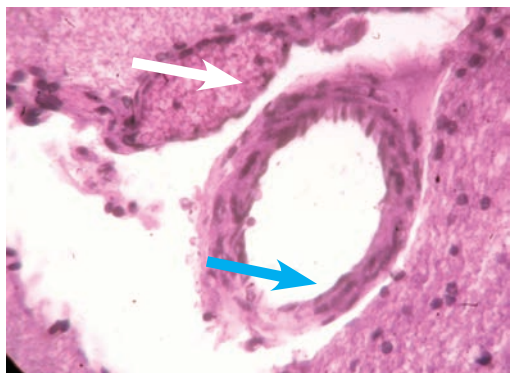


Рисунок (микрофото) 4 – Гладкомышечные клетки артерии часто колум выдаются в просвет сосуда.
В вене наблюдается стаз крови и воспалительные реакции стенки.
Заливка в парафин. $\times 400$

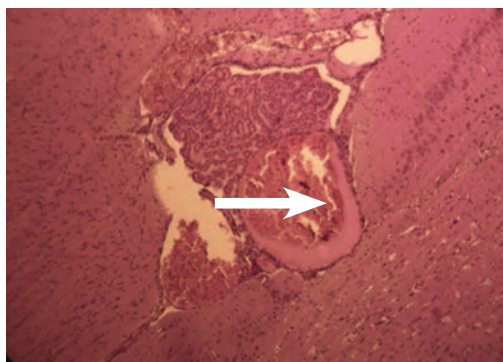


Рисунок (микрофото) 3 – Стаз и сепарирование крови в вене.
Заливка в парафин. $\times 100$

В артериях эластического типа обнаруживаются экземпляры в состоянии дистонии, у которых внутренняя оболочка противоположных сторон стенки образует конгруэнтные складки. При смыкании этих складок кровотока по этим артериям замедляется. Такие артерии, как ветви внутренней сонной артерии, видимо играют роль преобразователя толчкообразного потока крови в равномерный.

В отличие от кровеносного русла оболочек, интрамуральную сеть сосудов мозга однозначно описать невозможно. Тем не менее отметить ряд особенностей микроциркуляторного русла мозга при исключительно углеводной диете с определенными оговорками возможно. Как и в нор-

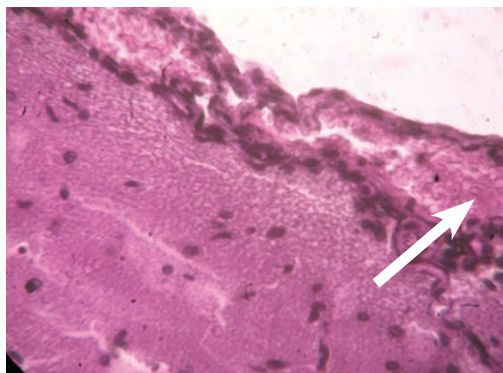


Рисунок (микрофото) 5 – Устье артериальной ветви, проникающей в мозг, покрыто эндотелиальными клетками. Сопровождающая вена полнокровная. Отмечается нарушение целостности эндотелия.
Заливка в парафин. $\times 400$

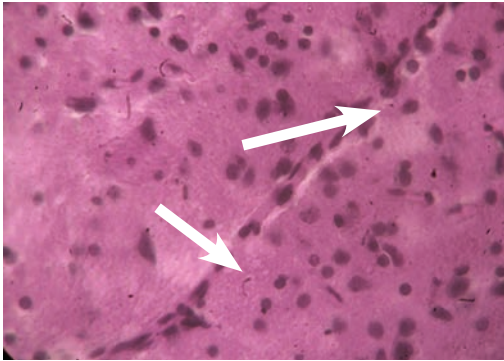


Рисунок (микрофото) 6 – Капилляр в коре мозга с огромными “сочными” ядрами. Заливка в парафин. $\times 400$

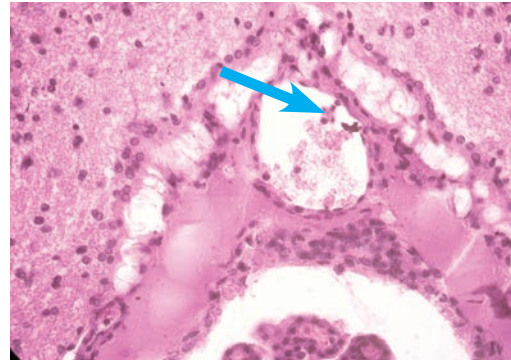


Рисунок (микрофото) 7 – Негроздевидная часть сосудистого сплетения с венами с различным содержанием в просвете. Заливка в парафин. $\times 400$

ме, от артерий оболочек отходят ветви и почти под прямым углом проникают в вещество мозга. В отличие от нормы устья этих ветвей относительно чаще перекрыты утолщением эндотелия, что приводит к отключению кровотока. Сказать, что это проявление перемежающейся активности кровоснабжения отдельных участков мозга или облитерация артериальной ветви, прилежащей структуры, трудно. На наш взгляд, при временном отключении паравазальные гипоксические синдромы не отмечаются, что имеет место при облитерации сосуда (рисунок 5).

Второе отличие – это наличие в долях головного мозга широких капилляров с огромными “сочными” ядрами эндотелиальных клеток (рисунок 6).

За счет чего увеличены ядра эндотелиальных клеток, объяснить на светооптическом уровне невозможно. Это может быть результатом внутриклеточной регенерации или отека каприоплазмы.

Особый интерес составляет при углеводной диете функциональная морфология сосудистых сплетений головного мозга, когда эпендимоцитам ворсинок приходится вырабатывать спинномозговую жидкость (СМЖ) из плазмы крови, обогащенной холестерином и глюкозой.

Прежде всего встает вопрос о количественных и качественных изменениях СМЖ и ее функций: поддержание постоянства внутричерепного давления, защита головного мозга от механических и иммунобиологических факторов, доставка биологических активных веществ

к различным структурам центральной нервной системы, сохранение санитарии и гигиены в полости черепа и спинномозговом канале. В контексте обсуждаемой в настоящей статье темы представляет интерес роль СМЖ в механизмах регуляции кровообращения в полости черепа как компонента гемолитического барьера (ГЛБ). Другой компонент ГЛБ – сосудистое сплетение желудочков головного мозга состоит из многорядной сосудистой сети, эпителиального покрова и соединительнотканной стромы, которые под действием исключительно углеводной диеты подвергаются следующим изменениям. Анатомически в сосудистом сплетении можно выделить негродевидную и гроздевидную части. В негродевидной части проходят артерии и вены в окружении соединительной ткани, состоящей из коллагеновых и частично из эластических и ретикулярных волокон.

У животных экспериментальной группы в негродевидной части сосудистого сплетения отмечается уплотнение и огрубение соединительнотканной стромы с уменьшением клеточной популяции. Наблюдается спазм артерий и артериол. Вены, как правило, дилатированы с разным (кровь, плазма, гиалиноподобное вещество) содержанием в просвете (рисунок 7).

Одновременно наблюдается сближение ворсинок, и сосудистое сплетение выглядит плотным. Капилляры ворсинок заустевают, а их просвет слабо выявляется. Окружающая капилляры соединительнотканная строма грубеет. Эпендимоциты ворсинок уменьшаются в размере,

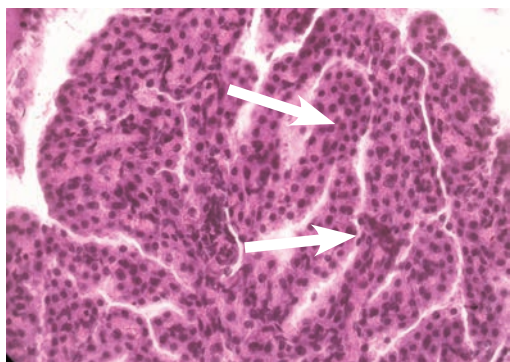


Рисунок (микрофото) 8 – Гроздевидная часть сосудистого сплетения III желудочка выглядит плотной с опустевшими капиллярами и изменением формы эндотелиоцитов. Заливка в парафин. $\times 400$

теряют свою кубическую форму, становятся более округлыми. Отдельные эндотелиоциты подвергаются гиалиновой дистрофии и апоптозу. Изложенные изменения строения видимо снижают функциональную активность сосудистого сплетения и продукцию СМЖ (рисунок 8).

Выводы

1. Углеводная диета вызывает гиперхолестеринемию и гипергликемию артериальной крови, снабжающей головной мозг.
2. В сосудах головного мозга наблюдаются адаптивные, компенсаторные и патологические изменения гемореологии сосудистой стенки и паравасального окружения.
3. В сосудистых сплетениях желудочков головного мозга наблюдается огрубение коллагеновой эластической и ретикулярной стромы, спазм артерий и дилатация вен. В гроздевидной части отмечаются запустевание капилляров, огрубение стромы и деформация эндотелиоцитов.

Поступила: 26.06.2025;

рецензирована: 10.07.2025; принята: 11.07.2025.

Литература

1. Rose Bruffaerts, Simon De Deyne, Karen Meersmans, Antonietta Gabriella Liuzzi, Gert Storms, Rik Vandenbergh. Redefining the resolution of semantic knowledge in the brain: Advances made by the introduction of models of semantics in neuroimaging // *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2019. Vol. 103. Pages 3–13.
2. Annandale M., Daniels L.J., Li X. et al. Fructose Metabolism and Cardiac Metabolic Stress // *Front Pharmacol*. 2021; 12: 695486. Published 2021 Jun 29. DOI:10.3389/fphar.2021.695486.
3. Soares N.P., Campos K.K., Pena K.B., et al. The Effects of the Combination of a Refined Carbohydrate Diet and Exposure to Hyperoxia in Mice // *Oxid Med Cell Longev*. 2016; 2016: 1014928. DOI:10.1155/2016/1014928.
4. Schipke J., Jütte D., Brandenberger C. et al. Dietary Carbohydrates and Fat Induce Distinct Surfactant Alterations in Mice // *Am J Respir Cell Mol Biol*. 2021; 64 (3): 379–390. DOI:10.1165/rcmb.2020-0335OC.
5. Zheng L., Wang Z., Zhang B., Yan L., Wang P., Zhao C., Lin H., Qiu L., Zhou C. Effects of High Dietary Carbohydrate Levels on Growth Performance, Enzyme Activities, Expression of Genes Related to Liver Glucose Metabolism, and the Intestinal Microbiota of Lateolabrax maculatus Juveniles // *Fishes*. 2023, 8, 431. URL: <https://doi.org/10.3390/fishes8090431>.
6. Pena K.B., Ramos C.O., Soares N.P. et al. The administration of a high refined carbohydrate diet promoted an increase in pulmonary inflammation and oxidative stress in mice exposed to cigarette smoke // *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2016; 11: 3207–3217. Published 2016 Dec 15. DOI:10.2147/COPD.S119485.
7. Шидиков Ю.Х.-М. Влияние рациона кормления крыс на биохимический профиль крови и морфологию печени / Ю.Х.-М. Шидиков, Е.В. Шарова, И.А. Абдумаликова [и др.] // *Бюллетень науки и практики*. 2020. Т. 6. № 2. С. 60–66. URL: <https://doi.org/10.33619/2414-2948/51/06>.
8. Song R., Hu M., Qin X., Qiu L., Wang P., Zhang X., Liu R., Wang X. The Roles of Lipid Metabolism in the Pathogenesis of Chronic Diseases in the Elderly // *Nutrients*. 2023 Aug 3; 15 (15): 3433. DOI: 10.3390/nu15153433. PMID: 37571370; PMCID: PMC10420821.
9. Wali J.A., Jarzebska N., Raubenheimer D., Simpson S.J., Rodionov R.N., O'Sullivan J.F. Cardio-metabolic effects of high-fat diets and their underlying mechanisms – a narrative review // *Nutrients*. 2020; 12: 1505. DOI:10.3390/nu12051505.
1. Rose Bruffaerts, Simon De Deyne, Karen Meersmans, Antonietta Gabriella Liuzzi, Gert Storms, Rik Vandenbergh. Redefining the resolution of semantic knowledge in the brain: Advances made by the introduction of models