

1.1. Relevant scientific research and analysis of issues

The neuromotor functioning of speech is a complex, multifaceted process, which is ensured by cortical cells, subcortical formations, and centrifugal nerve fibres located in speech motor and sensory centres (Luria, 1982; Kokun, 2006).

The Broca's motor centre, which is located in the posterior-inferior part of the third frontal gyrus of the left hemisphere (next to the Penfield motor area) and performs the motor function of the muscles of the face, tongue, palate and pharynx, is important for articulating speech sounds. Its damage leads to oral speech disorders (alalia, aphasia, dysarthria, stuttering) - the inability to combine individual sounds, syllables, and words into a single speech act (Clerget, Badets, Duqué, & Olivier, 2011; Long, Katlowitz, & Svirsky, 2016; Lorca-Puls, Gajardo-Vidal, Ploras, Oberhuber, Prejawa, Hope *et al.*, 2021). The Penfield Centre is responsible for the kinetic and kinaesthetic motor-sensitive organization of speech. The motor (efferent/kinetic) articulation area is located in the anterior central gyrus and switches articulatory positions. The sensory (afferent/kinaesthetic) articulation zone is located in the posterior central gyrus and ensures the maintenance of the articulation position. Damage to this centre leads to disorders of static and dynamic movements of the articulatory apparatus (Kokun, 2006).

It should be noted that the full functioning of speech is equally affected: *Wernicke's centre* (speech and auditory), located in the posterior part of the upper temporal gyrus of the left hemisphere. It provides phonemic analysis and synthesis of sound symbols of oral speech. Damage to this area causes impaired word perception (sensory aphasia) (DeWitt & Rauschecker, 2013); *Degerin's centre* (writing and reading control) is located in the left hemisphere in the area of the angular gyrus of the dominant hemisphere. The lesion results in verbal blindness (alexia or sensory aphasia), namely, the lack of understanding of written speech; *subcortical nodes* are responsible for the pace and expressiveness of speech; *cranial nerve nuclei* (trigeminal, facial, lingual, vagus, accessory and sublingual) provide sensitivity and mobility of the articulation organs. As we can see, there is no single centre of speech, it is formed by the speech cytoarchitectonic fields of the cerebral cortex (Luria, 1982; Guenther, 2006; Long *et al.*, 2016).

Speech readiness for school requires a sufficient level of neuromotor functioning of the hand, oral and articulatory praxes. Neurophysiological studies (Roby-Brami, Hermsdörfer, Roy, & Jacobs, 2012) show that praxis (Greek: praxis - action) is a system of voluntary, purposeful motor actions that provide practical skills for various activities. Motor control and movement control are organized by the frontal lobe of the premotor cortex. Its activity involves the sequential synthesis of individual motor impulses into unified "kinetic structures" that are automated during training and provide a dynamic process of complex movements and motor skills. O. Luria (1982) divided all praxis actions into two types of praxis: kinaesthetic praxis (afferent) is sensory and provides an understanding of one's own body. Information gathered from the senses (from sensory neurons) is converted into nerve impulses and reaches the central parts of the brain via afferent pathways, in particular, the parietal lobe of the left hemisphere; Kinetic praxis (efferent) carries out motor activity. Electrical impulses are spread from the premotor area of the frontal lobe cortex, which activates the muscular, tendon and joint systems.

The interdependence between speech components and gestures has been thoroughly studied and explained from both neurophysiological and psycholinguistic perspectives (Luria, 1982; Saltzman & Munhall, 1989; Amiel-Tison, 2001; Wang, Lekhal, Aarø, & Schjølberg, 2014; McNeill, 2014; Oberer, Gashaj, & Roebers, 2017; Cadoret, Bigras, Duval, Lemay, Tremblay, & Lemire, 2017; Sansavini, Favilla, Guasti, Marini, Millepiedi, & Di Martino, 2021). Scientific research convincingly proves that not only cognitive processes, but also kinetic and kinaesthetic *hand praxis* affect the coordinated mechanism of speech. In her study, D. McNeill (2014) argues that the development of speech is interconnected with gestures. The ontogeny of speech at an early age begins with gestural activity, which at the age of three or four, turns into a gestural-speech unity through self-regulation of

movements. This stage of development is called Mead's Loop, i.e., a change that took place in a certain psychological and linguistic environment during the formation of speech. The prefrontal cortex, which connects the ring of speech centres in the brain, is undergoing maturation during this period and may be an additional factor in the late maturity of speech components (McNeill, 2014).

The unity of speech movements and gestures has an internally conditional mechanism (Gafos & van Lieshout, 2020). Speech systems interact with motor activity, in particular, phonological grammar models gestures and regulates acceptable symbolic combinations; lexical realization content (parts of words) can be conveyed through speech gestures; acoustic realization of sound depends on the development of the articulatory motor function (Goldstein, 2019).

Developed fine motor skills of the fingers contribute to the acquisition of oral (Oberer, Gashaj, & Roebers, 2017) and written language skills (Van der Fels, te Wierike, Hartman, Elferink-Gemser, Smith, & Visscher 2015; Cameron, Cottone, Murrah, & Grissmer, 2016) and determine overall psychophysical maturity (Luria, 1982; Bielova, 2022). Motor finger activity via kinaesthetic impulses innervates the speech centres (Broca's), affecting their functional capabilities. Insufficiently developed subject activity of the hand praxis in older preschool children may indicate the unformedness of their speech functions.

The motor activity of the organs of the articulatory apparatus is provided by *oral praxis*, the actions of which are considered more complex than hand praxis, as they are formed on abstract concepts (puffing up the cheeks, frowning, tongue lolling, stretching the lips into a tube, etc.) Differential articulatory movements of the facial muscles, lips, tongue, and oral cavity are performed by oral kinaesthetic praxis. Oral kinetic praxis activates the actions of the articulation organs (tongue - lips, jaws - tongue, jaws - lips). Well-formed oral skills in a child are a prerequisite for correct sound pronunciation (an act of articulatory praxis) (Pakhomova, 2013; Pylyaeva, 2021).

Articulatory praxis is the ability to pronounce sounds and form an articulatory posture in accordance with the sound of speech (Luria, 1982). It should be emphasized that kinaesthetic (afferent) articulatory praxis is responsible for the reproduction of isolated speech sounds and the creation of articulatory positions (kinaesthesia, articulations). The combination of sounds into syllables and words is provided by the kinetic (efferent) articulatory praxis.

Praxis disorders lead to apraxia. Different forms are caused by damage to certain areas of the left hemisphere cerebral cortex, namely lesions of the parietal region that disrupt static (kinaesthetic) movements of the hand, oral and articulatory systems; frontotemporal damage affects the dynamism (kinetic) of movements, causing their slowing down, inability to switch from one position to another, and perseverations; damage to the parieto-occipital lobe of the brain affects specific spatial orientation (Hill, 1998; Wang, Lekhal, Aarø, & Schjølberg, 2014; Park, 2017).

Special psychological and neurophysiological studies reveal a specific relationship between speech and motor skills of children with special educational needs (Van Lieshout *et al.*, 2007; Wilson *et al.*, 2013; Leonard *et al.*, 2014); children with speech and language impairments replace words with gestures during communication, although their fine and gross motor skills are quite low and do not correspond to normotypical development (Iverson & Braddock, 2011); speech and language impairments have a greater impact on motor organization and such impairments are more pronounced (Visscher, Houwen, Scherder, Moolenaar, & Hartman, 2007); in addition to the underdevelopment of speech and motor functions, this category of children is characterized by underdevelopment of cognitive processes (Flapper, & Schoemaker, 2013) and problems in hand-eye coordination (Kulp, Ciner, & Maguire, 2017; Varuzza, D'Aiello, Lazzaro, Quarin, De Rose, Bergonzini *et al.*, 2023); gross and fine motor skills are interconnected with speech mechanisms (Gonzalez, Alvarez, & Nelson, 2019; Alcock & Connor, 2021).

The above-mentioned research is valuable enough, but narrowly focused. They do not sufficiently reveal the relationship between speech mechanisms and motor functions in children with different specific speech development (dyslalias, stuttering, rhinolalia, dysarthria).

=====
===

The harmonious functioning and production of speech are impossible without the development of motor skills (Gafos, van Lieshout, 2020). The modulation of articulatory movement and variable acoustics has the form of a pulse structure, which is related to the structure of the syllable. The pulses are aligned with each other in time, and the modulation functions are reliably correlated (Goldstein, 2019). Phonological coordination of movements is a fairly controlled process (Saltzman & Munhall, 1989; Schaal, Mohajerian, Ijspeert, Cisek, Drew *et al.*, 2007; Ijspeert, Nakanishi, Hoffmann, Pastor, Schaal, 2013; Turk, Shattuck-Hufnagel, 2020). Given that articulatory movements cause acoustic signals, disorders of articulatory (kinaesthetic and kinetic) praxis lead to specific defects in speech sounds, which is confirmed by our study. Older preschoolers with complex speech disorders have unformed static and dynamic movements of facial muscles and are unable to hold articulatory positions during the pronunciation of sounds. Accordingly, the speech of these respondents differs significantly from the indicators of normotypical development.

The motor organization of speech and phonological control is not natural, and the modulation process is often influenced by individual characteristics, cognitive development and other factors (Patri, Diard, Perrier, 2019). This is also evidenced by our study, which revealed different levels of hand, oral and articulatory praxis (low, medium and high). As a rule, children who had long-term psycholinguistic, correctional and developmental influence in the study conditions demonstrated the results of normotypical development, which corresponded to a high level. As a rule, this is a category of children with dyslalia, stuttering and less with rhinolalia. Those who had difficulties in manipulating and controlling movements had medium and low scores. They are characterized by complex speech disorders and specific psychophysical development, which was observed in a significant percentage of children with dysarthria, stuttering (neurosis-like form) and rhinolalia.

1.1. Relevant scientific research and analysis of issues

Нейромоторна функційність мовлення – це складний, багатогранний процес, який забезпечується клітинами кори головного мозку, підкірковими утвореннями, центробіжними нервовими волокнами, що розташовані в мовних рухових та сенсорних центрах (Luria, 1982; Kokun, 2006).

Важливого значення для артикулювання звуків мовлення набуває мовленнєворуховий Центр Брока, що розташований в задне-нижній частині третій лобової звивини лівої півкулі (поруч з відділами рухової області Пенфілда) та виконує моторну функцію м'язів обличчя, язика, піднебіння й глотки. Її ураження призводить до порушень усного мовлення (алалія, афазія, дизартрія, заїкуватість) – неможливості поєднати окремі звуки, склади, слова в єдиний мовленнєвий акт (Clerget, Badets, Duqué, & Olivier, 2011; Long, Katlowitz, Svirsky, 2016; Lorca-Puls, Gajardo-Vidal, Ploras, Oberhuber, Prejawa, Hope *et al.*, 2021). За кінетичну та кінестетичну моторночутливу організацію мовлення відповідає Центр Пенфілда. Моторна (еферентна/кінетична) артикуляційна зона знаходиться в передній центральній звивині, здійснює переключення артикуляційних позицій. Сенсорна (аферентна/кінестетична) артикуляційна зона розташована в задній центральній звивині, забезпечує утримання артикуляційної позиції. Ушкодження цього центру призводить до порушень статичного та динамічного рухів артикуляційного апарату (Kokun, 2006).

Варто зазначити, що на повноцінне функціонування мовлення рівнозначно впливають також: *Центр Верніке* (мовнослуховий), що розташований в задньому відділі верхньої скроневої звивини лівої півкулі. Забезпечує фонематичний аналіз і синтез звукових символів усного мовлення. Ушкодження цієї ділянки спричинює порушення сприйняття слів (сенсорна афазія) (DeWitt, Rauschecker, 2013); *Центр Дежеріна* (управління письмом та читанням) розташований в лівій півкулі в області кутової звивини домінантної півкулі. Під час ураження відбувається словесна сліпота (алексія, або сенсорна афазія), а саме нерозуміння писемного мовлення; *підкіркові вузли* – відповідають за темп та виразність мовлення; *ядра черепно-мозкових нервів* (трійчастий, лицьовий, язикоглотковий, блукаючий, додатковий і під'язиковий) – забезпечують чутливість та рухливість органів артикуляції. Як бачимо єдиного центру мовлення не існує, його утворюють мовні цитоархітектонічні поля кори великого мозку (Luria, 1982; Guenther, 2006; Long *et al.*, 2016).

Мовленнєва готовність до навчання в школі передбачає достатній рівень сформованості нейромоторної функційності кистьового, орального та артикуляційного праксисів. Нейрофізіологічні дослідження (Roby-Brami, Hermsdörfer, Roy, & Jacobs, 2012) показують, що праксис (грец. praxis – дія) – це система добровільних, цілеспрямованих рухових дій, що забезпечують практичні навички для різних видів діяльності. Руховий контроль і контроль руху організовуються лобовою часткою премоторної кори головного мозку. Його діяльність передбачає послідовний синтез окремих рухових імпульсів в єдині «кінетичні структури», які автоматизуються під час тренування і забезпечують динамічний процес складних рухів і рухових навичок. О. Luria (1982) розділив усі дії праксису на два типи праксису: кінестетичний праксис (аферентний) є сенсорним і забезпечує розуміння власного тіла. Інформація, зібрана з органів почуттів (з сенсорних нейронів), перетворюється в нервові імпульси і досягає центральних відділів мозку аферентними шляхами, зокрема, тім'яною часткою лівої півкулі; Кінетичний праксис (еферентний) здійснює рухову активність. З премоторної зони кори лобової частки поширюються електричні імпульси, які активізують м'язову, сухожильну і суглобову системи.

Взаємозалежність між мовленнєвими компонентами та жестикуляцією достеменно вивчається та роз'яснюється як з нейрофізіологічного так і з психолінгвістичного поглядів (Luria, 1982; Saltzman, Munhall, 1989; Amiel-Tison, 2001; Wang, Lekhal, Aarø, & Schjølberg, 2014; McNeill, 2014; Oberer, Gashaj, Roebers, 2017; Cadoret, Bigras, Duval, Lemay, Tremblay, & Lemire, 2017; Sansavini, Favilla, Guasti, Marini, Millepiedi, Di Martino, 2021). Наукові дослідження, переконливо доводять, що на злагоджений механізм мовлення впливає не тільки когнітивні процеси але й кінетичний та кінестетичний *кистьовий праксис*. У своєму дослідженні D. McNeill (2014) аргументує взаємозв'язок розвитку мовлення з жестикуляцією. Онтогенез мовлення в ранньому віці започатковує жести активність, котра в три, чотири роки перетворюється на жестово-

мовленнєву єдність здійснюючи саморегуляцію рухів. Цей етап проходження має назву «Mead's Loop» (петля «Мід») тобто – змінність, яка відбулась у певному психологічно-мовленнєвому середовищі під час становлення мовлення. Префронтальна кора, що з'єднує кільце мовленнєвих центрів у мозку, у цей період проходить стан дозрівання, може становити додатковий фактор щодо пізнього терміну зрілості мовленнєвих складових (McNeill, 2014).

Єдність мовленнєвих рухів та жестів мають внутрішньо умовний механізм (Gafos, van Lieshout, 2020). Мовленнєві системи взаємодіють із руховою активністю, зокрема фонологічна граматику змодельовує жестикуляцію та регулює допустимі символічні комбінації; лексичний зміст (частини слів) може передаватись через мовленнєві жести; акустична реалізація звуку залежить від сформованості артикуляційної моторної функції (Goldstein, 2019).

Розвинута дрібна моторика пальців рук сприяє оволодінню навичкам усного (Oberer, Gashaj, Roebbers, 2017) та писемного мовлення (Van der Fels, te Wierike, Hartman, Elferink-Gemser, Smith, & Visscher 2015; Cameron, Cottone, Murrah, & Grissmer, 2016) визначає загальну психофізичну зрілість (Luria, 1982; Bielova, 2022). Рухова пальцева активність по кінестетичним імпульсам іннервує мовленнєві центри (Брока) впливаючи на їх функційні можливості. Недостатньо розвинута предметна діяльність кистьового праксису в дітей старшого дошкільного віку може вказувати на несформованість їх мовних функцій.

Рухову активність органів артикуляційного апарату забезпечує *оральний праксис*, дії якого вважаються більш складними, ніж кистьовий праксис, так як формується на абстрактних поняттях (надути щоки, хмуритися, поцокоти язиком, витягнути губи в трубочку та ін.). Диференційні артикуляційні рухи м'язів обличчя, губ, язика, ротової порожнини здійснює оральний кінестетичний праксис. Активізує дії органів артикуляції (язик – губи, щелепи – язик, щелепи – губи) оральний кінетичний праксис. Якісно сформовані оральні навички в дитини є передумовою правильної звуковимови (акт артикуляційної праксису) (Pakhomova, 2013; Pylyaeva, 2021).

Артикуляційний праксис – це здатність вимовляти звуки та утворювати артикуляційну позу відповідно до звука мовлення (Luria, 1982). Варто наголосити, що за відтворення ізольованих звуків мовлення та створення артикуляційних позицій (кінестезій, артикулем) відповідає кінестетичний (аферентний) артикуляційний праксис. Поєднання звуків у склади та слова забезпечує кінетичний (еферентний) артикуляційний праксис.

Порушення праксису призводить до апраксії. Причинами виникнення різних форм є ушкодження певних ділянок кори головного мозку лівої півкулі, а саме: ураження тім'яної області порушує статичні (кінестетичні) рухи кистьової, оральної та артикуляційної систем; лобно-темпоральне пошкодження впливає на динамічність (кінетичного) рухів, викликає їх уповільненість, нездатність переключитись з однієї позиції на іншу, з'являються персеверації; пошкодження тім'яно-потиличної частки мозку позначається на специфічній просторовій орієнтації (Hill, 1998; Wang, Lekhal, Aarø, & Schjølberg, 2014; Park, 2017).

В спеціальних психологічних та нейрофізіологічних дослідженнях розкривається специфічний взаємозв'язок між мовленням та руховими навичками дітей з особливими освітніми проблемами (Van Lieshout *et al.*, 2007; Wilson *et al.*, 2013; Leonard *et al.*, 2014); діти із порушеннями мовлення під час спілкування заміняють слова жестикуляцією, хоча показники їх дрібної та загальної моторики є досить низькими і не відповідають нормотиповому розвитку (Iverson, Braddock, 2011); недорозвиненість мови та мовлення мають більший вплив на моторну організацію і такі порушення є більш вираженими (Visscher, Houwen, Scherder, Moolenaar, & Hartman, 2007); окрім не сформованості мовленнєвих та моторних функцій у цієї категорії дітей визначають недорозвиненість когнітивних процесів (Flapper, & Schoemaker, 2013) та проблеми в зорово-моторній координації (Kulp, Ciner, Maguire, 2017; Varuzza, D'Aiello, Lazzaro, Quarin, De Rose, Bergonzini *et al.*, 2023); велика та дрібна моторика взаємопов'язані із механізмами мовлення (Gonzalez, Alvarez, & Nelson, 2019; Alcock, Connor, 2021).

Вищезазначені наукові дослідження є достатньо цінними, але вузькоспрямованими. Вони не достатньо розкривають взаємозв'язок механізмів мовлення та моторних функцій у дітей, що мають різний специфічний розвиток мовлення (дислалія, заїкання, ринолалія, дизартоія).

=====

Гармонійне функціонування та продукування мовлення неможливе без розвинення моторних навичок (Gafos, van Lieshout, 2020). Модуляція артикуляційного руху та змінної акустики має форму імпульсної будови, що пов'язано зі структурою складу. Імпульси вирівнюються один з одним в часі, а функції модуляції надійно корельовані (Goldstein, 2019). Фонологічна координація рухів є достатньо контрольованим процесом (Saltzman, Munhall, 1989; Schaal, Mohajerian, Ijspeert, Cisek, Drew *et al.*, 2007; Ijspeert, Nakanishi, Hoffmann, Pastor, Schaal, 2013; Turk, Shattuck-Hufnagel, 2020). Зважаючи на те, що артикуляційні рухи викликають акустичні сигнали, то порушення артикуляційного (кінестетичного та кінетичного) праксису призводить до специфічних дефектів звуків мовлення, що й підтверджує наше дослідження. Старші дошкільники із складними порушеннями мовлення мають несформовані статичні та динамічні рухи мимічної мускулатури, не здатні втримувати артикуляційні позиції під час вимови звуків. Відповідно мовлення цих респондентів значно відрізняється від показників нормотипового розвитку.

Моторна організація мовлення та фонологічний контроль не є закономірним, часто на модуляційний процес впливають індивідуальні особливості, когнітивний розвиток та інші фактори (Patri, Diard, Perrier, 2019). На що вказує й наше дослідження, під час якого було виявлено різні рівні сформованості кистьового, орального та артикуляційного праксисів (низький, середній та високий). Зазвичай, діти котрі мали довготривалий психолінгвістичний, корекційно-розвивальний вплив в умовах дослідження демонстрували результати нормотипового розвитку, що відповідало високому рівню. Як правило, це категорія дітей із дислалією, заїканням та менше із ринолалією. Особи в котрих виникали труднощі в маніпуляції рухів та їх керуванню мали середні та низькі показники. Їм притаманні складні мовленнєві порушення та специфічний психофізичний розвиток, який було спостережено у значного відсотка дітей із дизартрією, заїканням (неврозоподібна форма) та ринолалією.