



"#\$%&\$!()\$* + , & , - ! . + - , &%&/)!0 , %)1/&) 2 *3!
4\$11\$%&/)! " 5 6 6 \$17!+8!95\$'&%\$%&/)! : , \$'7*) *

• C -F • C •

Fall 2020

!

!

" !

!

!

#\$%&"'()*!%+!

, -\$.()/0!1).(-*"'.!20"3)/".+!

4)56/.7)0.!-8!9*\$:6."-0!#-&":+! ; !<)6*)/'("5!

, "7 7 -0'!, :(--&!--8!9*\$:6."-0! ; !=\$7 60!4)3)&-57)0.!

#>!? -@!ABCDDE!

46&&6'F!GH!ABIABJCDDE!

K-0.6:..!"08-/76."-0L!/7)M'7\$N)*\$

Abstract

G()!5\$/5-')!-8!(!'!.): (0":6&!/5-/.!'!.-!*):/!"%)!.(!)5/-:)'!60*!-\$.: -7)'!-8!'\$776/"V"OW!
X\$6&".6."3)!606&+')!-8!K-W0".3)!Y0.)/3")O'!RKYU"0.-!6!06//6."3)!8-/7N!G(!"0.)/3")O'!O)/!
:-0*\$:.)*!6'!-0)!'.)5!"0!.(!)75"/":6&!/):-3)/+!60*!/):-0:"&"6."-0!-8!(!),56."6&!Z)6'-0"OW!R,ZU!
<)6/0"OW!#/-W/)'""-0!R<#U!O".("0!.(!)1)6'\$/"OW!96/&+!16.()76.":'!60*!Z)6'-0"OW!,["&&'!
R116Z,U!5/-\):.N!G("!/5-/.!*).6"&'!.(!)-\$.:-7)'!-8!(!)X\$6&".6."3)!606&+')!8/-7!KY'!
:-0*\$:.)*!O'.(!.\$*)0.'!O!W/6*')!]JI!60*!.(!)/3")O!5/-:)'!\$0*)/.6[]0!0!:/)6."OW!6!06//6."3)!
'.+&!)*)':/"5."-0!-8!'!.\$*)0.'^!O-/*!'!60*!6:."-0!"0!.(-)'!0.)/3")O'N!1-/)!"08-/76."-0!6%-\$.!(!)
6*7"0"'./6."-0!-8!(!)0.)/3")O'!:60!%)!8-\$0*!"0!.(!),Z!K-W0".3)!Y0.)/3")O!_ *7"0"'./6."-0!
):(0":6&!/5-/.!RG):(N!Z)5N!P-N!ICJI`UN!4).6"&'!-0!.(!)X\$6&".6."3)!606&+')!':60!%)!8-\$0*!"0!.(!)
,56."6&!Z)6'-0"OW!K-W0".3)!Y0.)/3")OL!a\$6&".6."3)!46.6!_06&+'""!.): (0":6&!/5-/.!RG):(N!Z)5N!
P-N!ICJIDUN!

!

!

Table of Contents

Y0./-*\$. "-0!	~!
Z)'6/:(!a\$)' "-0!	~!
1).(-*!	E!
Initial Summary Draft	4!
External Review	4!
Summary Revisions	5!
Z)'\$. '!-8!.(!, \$7 76/+!, .6.)7)0.'!	B!
RQ 3: Conceptions	5!
RQ 4: Interconnectedness	6!
K-0:.\$'" -0!	b!
Z)8)/)0:) '!	A!
55)0*"@!!c!?\$&&.)*!, .+&!), \$7 76/+!4)' :/"5." -0!	d!
!	

Spatial Reasoning Cognitive Interviews: Summaries of Qualitative Outcomes

Introduction

G()!5\$/5-')!-8!.(''!/!)5-/.!'!'-!*):/'%)!.(!)-\$.:-7)'!8/-7!.(!)X\$6&".6."3)!606&+)'!-8!.(!),56."6&!
Z)6'-0"OW!R,ZU!K-WO".3)!YO.)/3")O'!RKY'U!-8!.(!)1)6'\$/"OW!96/&+!16.()76.":'!60*!Z)6'-0"OW!
,["&&'!R116Z,U!5/-\):.N!_8.)!60!".)/6."3)!-5)OJ:-*"OW!5/-:)'!./-\$W(!O(":(!.(!/)')6/:(!.)67!
8-\$0*!)7)/W)0!.(!)7)'!0!'.)*0.!)6'-0"OW!/'5-0')'F!760\$':/"5.!.+&!)'\$776/"!'!O)/!O/"..)O!
.-!:/)6.)!6!06//6."3)!-8!'\$.)*0.'^!:-0:)5."-0'F!"0:&\$*"OW!7"":-0:)5."-0'!60*!)//-'!'0!.("O["OWF!
60*!*)6"&!.(!)"0.)/)&6."-0'!-8!.(!)"/![0-O&)*W)!'["&&'!60*!6%"&."!N!,))!.(!),56."6&!Z)6'-0"OW!
K-WO".3)!YO.)/3")OL!a\$6&".6."3)!46.6!_06&+'""!.): (O":6&!/!)5-/.!RG):(N!Z)5N!P-N!ICJIDU!8-/
).6&'!-0!.(!)606&+'""!7).(-'!60*!"08-/76."-0!/&6.)*!-!.(!)(+5-.()''V)*!<)6/0"OW!
#

" #!;%!<-. '1:*-- ':. '6- '33!

: -0:)5. '!60*!"8!(.)"/!)6' -0"OW!O6'!: -0"''.)0!.O".(!.(-')!(+5-.('V)*!: -0:)5."-0'N!2 "'OW!(.('!
"0.)0."-06&!'./\$: .\$/)F!O)!8-\$0*!. (6.!'- 7)'!.\$*)0.!)6' -0"OW!O6'!: -0"''.)0!.O".(!.(!): -0:)5."-0'
O)!(+5-.('V)*!6'!0:)'!6/+!8-/)6: (!-8!.(.)!, Z!6' ['N!G(!:6/)8\$&!606&+') '!-8!.(.)"/!)6' -0"OW!
./(-\$W(!.('!O"/."OW!86:"&.6.)*!'!\$%' .60."3)!8"0*"OW'!. (6.!6/)!&- :6.)*!"0!. (!, 56."6&!Z)6' -0"OW!
K-W0"."3)!Y0.)/3)O'L!a\$6&".6."3)!46.6!_06&+') '!.): (0":6&!/)5-./.!RG): (N!Z)5N!P-N!ICJIDUN!
!

e)!*""0-.!6: :-\$0.!8-!/:-//):.0)'!"0!' .\$(*)0.!)'5-0')'!O()0!O"/."OW!(.)')!7 60\$':/"5.J'+&F!
06//6."3)!\$ 7 7 6/"!'!-8!'!.\$*)0.!'./6.)W")'N!YO'.)6*F!.(!)'!\$ 7 7 6/"!'!8-:\$)'*!-0!.(!)/)6' -0"OW!
'./6.)W")'!8-\$0*!.(-\$W(!-5)0J: -*"OW!-8!"0.)/3)O!*6.6N!G("!'')56/6."-0!-8!.(.)!606&+') '!7 6[)'!
60'O)/"OW!/)')6: (!X\$)'."-0!'NI!&" 7"..)*!6.!(.('!"7)i!7 -/)!:-0:/.)!60'O)/'O"&&!%)!8-\$0*!"0!.(!
/): -0:"&"6."-0!5/-:)' 'N!
!

e ("&!O)!: -\$&*!"08)/!"8!'!.\$*)0.'!O)/)!\$"OW!7 -/)!-!/&'!'!-5("":6.)*/!)6' -0"OW!'./6.)W")'F!
O".(-\$.!6: :-\$0."OW!8-!/:-//):.0)'F!.(-')!"08)/)0:)'!7 6+!&)6*!. -!86&')!:-0:&\$'"-0'!6%-\$.!
/)6' -0"OW!5/-:)'!'!'!8!'!.\$*)0.'!O)/)!0-.!6//3"OW!6.!: -//):.!-!/!)6' -06%&!)!'5-0')'N!YO!. (6.F!6!
7 6\-/!&" 7".6."-0!-8!.(!"!5/-:)'!'!O6'!.(!)@:&\$'"-0!-8!:-//):.0)'!'!O!*)./7 "0"OW!"8!'!.\$*)0.'!
)7 -0'./6.)!7 "'': -0:)5."-0'!60*g-/)//-'!'!O!.(!)/!)6' -0"OWN!YO!.(!%\$&&)!&"!'!\$ 7 7 6/"!'!R,))!
_55)0*@"!_UF!.(!)/!6/)!*.6"&'!-8!/!)6' -0"OW!. (6.!O)/)!:&)6/&+!7 "'': -0:)5."-0'!-!/)//-'!'!O!'!.\$*)0.!
.("O["OWF!%\$.!*).6"&'!.(!)/"0!6/)!6&'-'!\$%\):.!-!:(60W)!O()0!*6.6!'-\$/:)'!6/)!/):-0:"&)*N!

RQ 4: Interconnectedness

e)!8-\$0*!"0!.(!)X\$6&".6."3)!606&+')'F!O)!*""0-!(63)!\$%' .60."3)!/'\$&.'!/)&6.)*!.-!.(!)
"0.)/:-00:.)*)0)'!'!-8!'!.\$*)0.!'!56."6&!/)6' -0"OW!'["&&'!-!/]0-O&)*W)!, ["&&'!60*!_%"&".)'!R], _'U!
\$)!.-!.(!)O6+'!'!O(":(!O)!606&+V)!.(!)*6.6N!G-!'!6.)!8"0*"OW'F!O)!O)*!.-!/):-0:"&!)!.('!'!
"08-/7 6."-0!O".(!.(!)X\$60.

References

#"0"&&6F!ZNF!, 56/['F!_NF!=6.8")&*F!KNF! ; !])..)/&"OJS)&&)/F!<N!ZN!RICICUN!, 56."6&/)6' -0"OWL!K-WO".3)!0.)/3")O!
6*7 "0"'./6."-0!RG): (N!Z)5N!P -N!ICJI`UN!46&&6'F!GHL!, -\$.()/0! 1).(-*"'.!20"3)/".+F!Z)'6/: (!"0!
1 6.() 76.": '!9*\$:6."-ON!

Appendi A

Appendix B – External Feedback on Core Concepts 1 & 2

%&'()*+,-./0,123456789:;<=>?@A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z [\] ^ _ ` { | } ~ ¡ ¢ £ ¤ ¥ ¦ § ¨ © ª « ¬ ® ¯ ° ± ² ³ ´ µ ¶ · ¸ ¹ º » ¼ ½ ¾ ¿ À Á Â Ã Ä Å Æ Ç È É Ê Ë Ì Í Î Ï Ñ Ò Ó Ô Õ Ö × Ø Ù Ú Û Ü Ý Þ ß à á â ã ä å æ ç è é ê ë ì í î ï ð ñ ò ó ô õ ö ÷ ø ù ú û ü ý þ ÿ

: #=M!	L+&2!' ; 0 / 35' (!+8!())&9' ,)B+26! 02' !@2'0)=!>B+&59!099!) . ' / !)+! 4+&2!(& / / 02*' (=! : 5(+<!>B+&59!099!3'21' ,)0@' (!+2! 1+& ,)(!&8!4+&! . 0A'!). ' / =! <). '2B*(!'! , !). '!8&)&2' =!	: #=M=I - N!>(!). '! +&)(*9'!8+21'c!). '! ()&9' ,)(!). ' / ('5A' (7!!		
: #=1!V!9!	> ,!) . '!') ;)!4+&!056!0M+&!)0! 1+ ,) ,) !6 ,+B5'9@'!(6*55!4+&! M'5*'A'!). '!()&9' ,)(! , '9'9=>! B+&59!9' (12*M'!). 0)!(6*55c! . +B!) . '4!&('!)c!0 ,9!B . 4!4+&!). * , 6!) . '4! , '9!*>=<). '2B*(!'!). '! 2'09'2!8' '(!+&!)!+8!1+ ,) ;)!0 ,9!*(! . 029!)+!& , 9'2(0) ,9!B . 0)!4+&! / '0 ,!) . '2'!	: #=1!JH - K!JPW= : #=9!)+@'). '2K! - +!4+&!8' '5!5*6'! 'A' ,)&0554!4+&! / *@ .)! . 0A'!)+' ; 30 ,9!). '(!)+'9' ,)*84!). '! 9*88'2' ,)!B04(!). '4!)056!0M+&!) . '!(. 03'! 0))2*M&)' (7!X . '2'! / *@ .)!M'!@2+&3(! B*) . * ,!) . 0)! / 04!M'! ,) '2'()* , @=!		
: =H=0!	X . '!PW= : H! / 0 , &(12*3)!B0(!0! 5*))5'!M*)! . 029!)+!8+55+B!J). '! M&55')!3+* ,)(!B'2' ,F)K!>!). * , 6!*(! / +2'!0 , !+2@0 , *?0)*+ , 05!*((&'=>! B+&59!@*A'!). '!1+ ,) ;)!+8!). '!)0(6!4+&!B'2'!9' (12*M* , @!0 , 9!) . ' , !9' (12*M'!B . 0)! . '!()&9' ,)(! 9*9!()02)* , @!82+ / !). '!5+B' ()!5'A'5!)+!). '! . *@ . '()!5'A'5! / ' ,)*+ , * , @! B . *1 . !@209'!). '4!02'!82+ / !0 , 9! B . 0)! . '4!9*9=>!). * , 6!). 0)!B+&59! / 06'!*)! '0(*'2!)+!8+55+B=!	> ,!) '2 / (!+8!103)&2* , @!) . '!'((' , 1'c!>!8' '5!5*6'! 4+&!9+!*(!D&())! (+ / ')* / '(!. 029!)+! 8+55+B!). 2+&@ . ! M'10&('!+8!). '! +2@0 , *?0)*+ , !+8!). '! 3020@203 . =!!	X . '!'; 0 / 35' (!02'!15'02c! >!B+&59!099!(+ / '! T&+)' (!+2!)20 , (12*3)(!)+! 01)&0554! . '53!). '!2'09'2! (!'!B . 0)! . '!()&9' ,)(! 9*9!0 , 9!). ' , !'; 350* ,! B . 0)!4+&!& , 9'2(0) , 9!) . '4!02'!9+* , @=!	B . 0)!9+!4+&!9+!B . ' , !). '!6*9(! &('!50 , @&0@'!5*6'!)&2 , !2+0)*+ , c!)+! / '0 , !(+ / '). * , @!'5('7!<2!*8!). '4! (04!>!85*33'9!*!)!+ / '0 , !). '4!)&2 , '9!*7!<2!0!2'85'1)*+ , 7!>! 2' / ' / M'2! , +)*1* , @!). 0)!* , !). '! A*9'+(=!

: =H=M! L '(C!4+&!103)&2'!'A'24). *, @!0, 9! L '(C!M&!0!1.0, @'!'*,!
.0A'!2'0554!@++9!' ;350, 0)*+, (!*,!
) . '2'!=!E+B' A'2C!>!). *, 6!). '4!
B+&59!M'!'0(*'2!)+!&, 9'2()0, 9!*8! &, 9'2()0, 9=+!>!8' '5!
4+&!M2+6'!9+B, !M4!1+9'!0, 9!). '('1+9' (!0(!5*()'9!
+2@0, *?'9*)!5*6'!>!9' (12*M'!
M'5+B=!L+&!10, !M2'06!*)!9+B, !
B*). !(&M. '09*, @(!0, 9!
' ;350, 0)*+, (!B*). !' ;0 / 35' (!0, 9!
) . *(!B*55! / 06'!*)!'0(*'2!8+2!). '!
2'09'2!)+18+55+B!4+&2!). +&@.)(!
+, !). '!1+9' (=!
!!!!!!

: =H=1!

>!)9+'(C!>!B+&59!9+!0(!>!
(&@@'()'9!M'8+2'!* ,!)'2 / (!+8!
+2@0,*?0)*+ ,=! : 5(+!)24! , +!)+!
(+& , 9!5*6'!4+&!02'!D&()!B2*)* , @!
M&55')!3+* ,)(C!1+ , , '1)!4+&2!
(' ,)' , 1' (=!!

L '(C!>!5*6'!. +B!4+&!
' ; 350* ,!4+&2!8* , 9* , @(!
. '2'!

: (!> / ' ,)*+ , '9!>!B+&59!
(. +B!4+&2!01)&05!
' ; 0 / 35' (!0 , 9!@*A'!
, & / M'2(!8+2!'01.!) * / '!
4+&!(04!(+ / '!+2! / 0 , 4!
')1=!0 , 9!05(+!B+&59!
' ; 30 , 9!+ , !). '!1+ ,)' ;)=!

>!5*6'!). '('!1+9'(!0!5+)!0 , 9!). 0)!
4+&!* , 15&9'9!). '!(. +B! / '!0 , 9!
) . '!3 . 4(*105!9' (12*3)*+ , !+8!). '!
) . * , @(!). '4!02'!9+* , @!X . *(!*(!
@2'0)C!+8)' , !). '!()&9' ,)(/ 04! , +)!
. 0A'!). '!50 , @&0@'!M&!10 , !
3 . 4(*10554!' ; 350* , !). * , @(!0 , 9!D&(!
M'10&('!). '4!9+ , F)!. 0A'!). '!
50 , @&0@'!9+' (, F)! / '0 , !). '4!